ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 2 FÉVRIER 1925.

PRÉSIDENCE DE M. E.-L. BOUVIER.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

ASTRONOMIE. — *Sur la détermination des vitesses radiales des étoiles.* Note de M. Maurice Hamy.

La détermination des vitesses radiales des astres repose sur la comparaison des raies de leurs spectres, appartenant à certains éléments, à celles des raies des mêmes éléments obtenues à la surface de la Terre. En vertu du principe Doppler-Fizeau, les longueurs d'ondes des radiations émises par une source mobile par rapport à l'observateur diminuent lorsque la source s'approche et augmentent lorsqu'elle s'éloigne. Au point de vue quantitatif, les variations sont proportionnelles à la vitesse radiale relative. C'est cette propriété qui sert de point de départ, pour évaluer expérimentalement les vitesses dont il s'agit.

On a cru longtemps les longueurs d'ondes des radiations émises par tous les corps, à l'état de repos, rigoureusement invariables; c'est pourquoi la mesure des vitesses radiales paraissait pouvoir acquérir un degré d'exactitude capable de suivre les perfectionnements apportés aux moyens d'observation. La découverte de l'altération des longueurs d'ondes provoquées par la pression ([1]), en montrant, pour la première fois, que cette constance n'est pas absolue, est venue compliquer singulièrement le problème de la détermination des vitesses radiales. Depuis lors, d'autres causes d'alté-

---

([1]) W.-J. Humphreys Jewell et J.-F. Mohler, *Astrophysical Journal*, t. 3, 1896, p. 114 et 138.

rations (¹) ont été mises en lumière et rien ne prouve que l'on n'en décèlera pas de nouvelles. En fait on constate pratiquement des déplacements anormaux de beaucoup de raies spectrales qui restent inexpliqués.

La cause perturbatrice récemment prévue par Einstein est un effet de gravitation, agissant dans le même sens que la pression, et tendant à accroître les longueurs d'ondes des radiations émises à la surface d'un astré de très grande masse. Son existence effective a été établie expérimentalement par Perot (²), en comparant les longueurs d'ondes terrestres de deux raies du magnésium, inégalement sensibles à la pression, à celles que possèdent les raies solaires correspondantes. Par ce moyen, l'auteur a séparé les effets individuels de pression et de gravitation. Il a trouvé que ce dernier possède la valeur assignée par la loi d'Einstein, le premier indiquant d'ailleurs que la vapeur de magnésium, dans la couche renversante, est soumise à une pression montant à une faible fraction d'atmosphère. Or, avant les recherches d'Einstein, Fabry et Buisson avaient étudié, au moyen de l'interféromètre, les écarts existant entre les positions de certaines raies solaires du fer, par rapport aux raies d'arc correspondantes d'origine terrestre, écarts signalés autrefois par Rowland et Jewell et attribués à la pression. Fabry et Buisson (³), avaient trouvé que cette hypothèse est conciliable avec les faits d'expérience, en admettant l'existence d'une pression de plusieurs atmosphères dans le Soleil. Toutefois diverses particularités, signalées par les auteurs, se trouvaient en opposition avec semblable explication. C'est ainsi que certaines raies du fer, aussi fines dans le Soleil que dans l'arc engendré dans le vide, s'élargissent cependant sous l'action de la pression. Par ailleurs, d'autres raies qui se déplacent plus que les autres, par l'effet de la pression, ne présentent aucun désaccord, quand on passe de l'arc au Soleil.

A la suite des recherches de Perot, les auteurs ont reconnu (⁴), en discutant à nouveau leurs anciennes mesures, que les déplacements des raies solaires du fer, par rapport aux raies d'arc terrestre émises dans le vide,

---

(¹) Les phénomènes de Zeeman et de Stark se rapportent à la décomposition, en plusieurs composantes, affectées de polarisation rectiligne ou circulaire, d'une radiation qui prend naissance dans un champ magnétique ou électrique. Ces composantes étant symétriques, dans l'échelle des longueurs d'ondes, par rapport à la radiation dont elles dérivent, il n'en résulte aucun effet sur la mesure des vitesses radiales.

(²) *Comptes rendus*, t. 172, 1921, p. 578.

(³) *Comptes rendus*, t. 148, 1909, p. 688 et 1240.

(⁴) *Comptes rendus*, t. 172, 1921, p. 1020.

s'expliquent exactement et uniquement par l'effet Einstein. Toutes les anomalies disparaissent alors complètement sans exception. De son côté, en appliquant la méthode de Perot aux raies du fer dont les déplacements, sous l'influence de la pression, ont été mesurés autrefois par Gale et Adams, Salet ([1]) a constaté la faiblesse de la pression de la vapeur de ce métal dans la couche renversante du Soleil. La même méthode, appliquée à Arcturus et Procyon, a conduit à admettre que la pression de la vapeur renversante du fer, dans ces étoiles, est du même ordre de grandeur que dans le Soleil. Ces résultats reposent sur l'utilisation de spectrogrammes réalisés au grand spectrographe stellaire, de type particulier, de l'Observatoire de Paris. Bien qu'ils aient été obtenus en atteignant et dépassant même la limite de précision raisonnablement accessible aux mesures, ils s'accordent avec ceux plus étendus de C.-E. Saint-John et H.-D. Babcock ([2]) qui ont utilisé depuis des moyens beaucoup plus puissants.

La variation moyenne des longueurs d'ondes des raies du fer, sous l'influence de la pression ([3]), entre $\lambda 3903$ et $\lambda 4337$, est de $0^{A},0035$ par atmosphère. La variation des longueurs d'ondes des raies dans les étoiles de types spectraux, voisins de celui du Soleil, peut en conséquence être considérée comme très faible et raisonnablement inaccessible aux mesures effectuées sur les spectrogrammes couramment réalisés, dans les observatoires, pour la recherche des vitesses radiales. C'est ainsi qu'une des dispersions du spectrographe de Paris, exceptionnellement forte et applicable uniquement aux étoiles les plus brillantes, fournit des spectres photographiques sur lesquels l'écartement des raies correspond à $4^{A},1$ par millimètre, dans le voisinage $\lambda 4405$. Les pointés sur les spectrogrammes ([4]) ne pouvant être exécutés normalement avec une approximation dépassant 1^{μ}, ce qui correspond à une limite de précision de $0^{km},3$, pour les vitesses radiales, les effets de pression d'une fraction d'atmosphère sont, en bonne logique, négligeables, même pour cette dispersion et *a fortiori* pour les dispersions courantes. Par contre, l'effet de gravitation d'Einstein, pour les astres comparables au Soleil, est sensible. Il se traduit en effet par l'éga-

---

([1]) *Comptes rendus*, t. 173, 1921, p. 250. — *Astrophysical Journal*, t. 53, 1921, p. 327.

([2]) *Astrophysical Journal*, t. 60, 1924, p. 32.

([3]) W.-J. Humphreys, *Astrophysical Journal*, t. 22, 1905, p. 218.

([4]) Le spectrographe ayant $2^{m},50$ de foyer, le micron, sur les clichés, correspond à un écart angulaire moindre que $0'',1$.

lité (¹)

$$\lambda\odot - \lambda\text{♁} = 0{,}0000021\,\lambda\text{♁},$$

$\lambda\odot$ et λ♁ représentant respectivement les longueurs d'ondes d'une même radiation émise à la surface du Soleil et sur la Terre. Pour λ♁ $= 4405$ A, la différence atteint $0^{A},009$. L'effet est mesurable et son action sur les vitesses radiales monte à $0^{km},6$.

Une autre cause perturbatrice, sur laquelle j'ai appelé déjà l'attention (²), est la suivante. A. Michelson, à propos de ses mémorables recherches sur la détermination du mètre en longueurs d'ondes lumineuses, a découvert que la plupart des radiations qu'il a étudiées dans ses expériences ne sont pas simples mais composées de plusieurs autres, de longueurs d'ondes trop voisines, pour pouvoir être séparées par l'emploi des appareils dispersifs ordinaires. La conséquence de ce fait est que la plupart des raies d'un spectre ont une position dépendant d'une longueur d'onde moyenne, elle-même fonction des longueurs d'ondes et des éclats relatifs des radiations isolées rentrant dans leur constitution.

D'ailleurs, par radiation isolée, on ne doit pas entendre une radiation provenant d'un mouvement vibratoire simple qui existe bien en acoustique mais non en optique, à cause des mouvements rapides en tous sens animant les nombreuses molécules qui interviennent simultanément dans l'émission des ondes lumineuses. Il s'agit en réalité de radiations occupant un espace plus ou moins resserré, dans l'échelle des longueurs d'ondes. Parmi ces radiations, encore faut-il distinguer celles dont la courbe d'intensité, tout entière comprise entre les deux longueurs d'ondes qui marquent leurs limites, est symétrique par rapport à une ordonnée centrale, des radiations dissymétriques qui ne jouissent pas de cette propriété. Les premières ont des positions parfaitement définies dans le spectre par celles des ordonnées centrales. Leurs longueurs d'ondes, déterminées par les réseaux ou l'interféromètre, se confondent avec celles qui correspondent à ces ordonnées particulières. Il n'en est plus de même pour les radiations dissymétriques et, fussent-elles très fines, leurs positions dans le spectre sont mal définies.

Or il arrive, d'une part, que la constitution des raies complexes peut être influencée par le mode d'excitation qui lui donne naissance, par la température et l'état plus ou moins parfait de pureté de la vapeur métallique fournissant les raies. C'est ce qui est nettement mis en évidence par la

(¹) E. PICARD, *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1922, p. B.26.
(²) *Comptes rendus*, t. 138, 1904, p. 1156.

radiation complexe λ5086 du cadmium, double lorsqu'elle est engendrée par les tubes à vide, à électrodes intérieures, de Michelson, et triple lorsqu'elle prend naissance, dans les tubes à gaines, sans électrodes intérieures. Ce fait est de plus accompagné d'un changement très marqué des éclats relatifs des composantes, lorsque la température de la vapeur varie de quelques degrés seulement autour de 300°. Ces causes ont pour effet de faire varier la position, sur un spectrogramme, de la raie λ 5086 dont les composantes, non séparées, forment un tout global. La variation est d'ailleurs très importante. Le satellite de la raie λ5086, fournie par les tubes de Michelson, était relativement faible, la longueur d'onde moyenne de cette raie se confond pratiquement avec celle de la composante principale, mesurée par Michelson, savoir λ = 5085,822.

D'autre part, mes tubes, sans électrodes intérieures ([1]), émettent le doublet de Michelson, accompagné d'une troisième composante moins réfrangible, de même éclat que la composante principale du doublet, lorsque la vapeur du métal est à la température normale de 300°. La longueur d'onde de cette composante a pour valeur λ = 5085,900. Il en résulte que la longueur d'onde moyenne de la radiation λ 5086, fournie par les derniers tubes, surpasse de $0^{A},039$ celle que l'on observe avec les tubes de Michelson. Des écarts semblables introduisent, dans les vitesses radiales, des variations atteignant $2^{km},7$ dans le voisinage de la longueur d'onde λ 4405. Cet exemple fait toucher du doigt la grosse importance des effets produits par le changement de constitution des raies spectrales. Devant eux les autres, signalés ci-dessus, ne comptent pour ainsi dire pas. En fait des différences de cet ordre et surtout de 2^{km} à 1^{km} se présentent constamment, entre les résultats obtenus avec diverses raies, dans la détermination des vitesses radiales, même en faisant usage des raies paraissant bien définies.

Est-il possible de se mettre à l'abri d'effets perturbateurs de ce genre? Il semble que l'on y parviendrait en choisissant convenablement les raies à employer, pour mesurer les vitesses radiales, en partant de spectrogrammes solaires à très grande dispersion, obtenus en prenant, comme source, le centre du Soleil ou sa lumière globale, et encadrés de raies de comparaison empruntées à l'arc au fer dans le vide. Cette dernière condition est indispensable. Buisson et Fabry ([2]) ont en effet reconnu que les raies

---

([1]) *Revue d'optique théorique et instrumentale*, t. 3, 1924, p. 488. Voir aussi *Comptes rendus*, t. 124, 1897, p. 749, et t. 126, 1898, p. 231.

([2]) *Comptes rendus*, t. 148, 1909, p. 1240.

de fer forment deux groupes : celles qui s'élargissent dissymétriquement vers le rouge ou vers le violet, sous l'influence de la pression atmosphérique, et celles qui s'élargissent symétriquement. A l'exception de ces dernières qui subissent des déplacements vers le rouge de l'ordre de $0^{A},002$, les autres présentent des déplacements capricieux beaucoup plus élevés et susceptibles de fausser gravement les résultats. La mesure des déplacement des raies solaires du fer de ces spectrogrammes, par rapport aux raies d'émission correspondantes dans le vide, conduirait à dresser un tableau de deux catégories de raies : celles dont les déplacements répondent exactement à l'effet Einstein et celles qui s'en écartent.

Laissant systématiquement de côté ces dernières, il conviendrait de choisir, pour la mesure des vitesses radiales des étoiles, de types spectraux voisins du type solaire, des raies appartenant à la première catégorie dont la constitution, quand on passe de l'arc terrestre au Soleil, peut être regardée comme invariable ([1]). On retiendrait les raies bien définies, dans les spectres stellaires, et suffisamment isolées, pour que leurs positions ne soient pas influencées par les raies voisines. D'après les résultats de Buisson et Fabry, parmi les raies ainsi conservées, les meilleures seraient vraisemblablement celles qui s'élargissent symétriquement par la pression, vu la faiblesse de leurs déplacements sous l'influence de cet agent. Les raies solaires correspondantes, comparées aux raies stellaires par la méthode d'Hartmann, donneraient incontestablement un maximum de garanties d'exactitude. Des raies appartenant à d'autres substances que le fer et sélectionnées par des moyens analogues pourraient d'ailleurs être utilisées, concurremment aux premières, pour augmenter le nombre des comparaisons.

En opérant de la sorte il semble, dans l'état actuel de la Science, que les erreurs résiduelles, affectant les vitesses radiales, seraient causées par les différences d'effet Einstein entre le Soleil et les étoiles. Ces erreurs ne peuvent être que très faibles et le plus souvent inférieures à la limite de précision pratiquement accessible, vu les dispersions dont il faut se contenter. C'est pourquoi toute raie, donnant un écart systématique par rapport aux

---

([1]) Dans leurs recherches, Buisson et Fabry ont fait usage des franges de transmission des lames argentées, pour mesurer les longueurs d'ondes des raies d'arc d'émission et des raies d'absorption solaires correspondantes. Cette méthode ne s'applique qu'à des raies très fines, la plupart du temps inobservables, dans les spectres stellaires. C'est pourquoi des raies plus fortes doivent être sélectionnées, en faisant emploi d'appareils dispersifs puissants.

autres, devrait être impitoyablement éliminée, comme influencée pour une cause perturbatrice inconnue. On doit noter d'ailleurs que si les rayons émanant d'une étoile traversaient, le long de leur trajet, des masses gazeuses, en mouvement rapide, la vitesse radiale mesurée de l'astre se trouverait plus ou moins altérée, sans que l'on puisse entrevoir actuellement un moyen de s'en apercevoir et de s'affranchir de pareille cause d'erreur.

Un accord international, relatif aux raies de comparaison à employer dans la détermination des vitesses radiales, aurait certainement les plus heureuses conséquences. Il permettrait notamment la recherche des causes des différences systématiques existant entre les résultats obtenus par les différents observatoires, différences sur l'origine desquelles on est réduit actuellement à émettre simplement des hypothèses ([1]).

PHYSIQUE. — *Sur les perturbations de transmission à grande distance des ondes hertziennes.* Note ([2]) de M. G. **Bigourdan**.

Dans une Note récente ([3]), j'ai réuni des nombres obtenus en 1923, pour étudier la grandeur de ces perturbations sur de grandes distances. Le tableau suivant donne les moyennes mensuelles, trimestrielles et annuelles des valeurs de Δ, exprimées aussi en millièmes de seconde. Pour chaque Δ la colonne de gauche donne la somme des écarts positifs, avec leur nombre entre parenthèses, et celle de droite de même celle des écarts négatifs.

La moyenne générale des valeurs annuelles est $0^s,013$.

([1]) Parmi les causes d'erreurs, il faut mentionner la flexion des spectrographes entraînés dans l'espace, au foyer des lunettes, flexion constamment variable. Le spectrographe installé au grand équatorial coudé, demeure complètement immobile pendant la pose des spectres. Les résultats sont, en conséquence, à l'abri des effets de flexion.

([2]) Séance du 26 janvier 1925.

([3]) *Comptes rendus*, t. 180, 1925, p. 233.

TABLEAU.

Moyennes mensuelles, trimestrielles et annuelles.

1923.	Δ_p Σ. +	Δ_p Σ. −	$\Delta_{1,p}$ Σ. +	$\Delta_{1,p}$ Σ. −	$\Delta_{2,p}$ Σ. +	$\Delta_{2,p}$ Σ. −	Δ_g Σ. +	Δ_g Σ. −
Janv...	22 (3)	59 (5)	00 (0)	08 (1)	32 (1)	0 (0)	35 (5)	52 (3)
Fév...	99 (6)	8 (1)	00 (0)	54 (2)	6 (1)	30 (1)	70 (4)	59 (4)
Mars...	82 (4)	186 (9)	10 (1)	34 (2)	48 (4)	24 (2)	114 (8)	28 (4)
	203 (13)	253 (15)	10 (1)	96 (5)	86 (6)	54 (3)	219 (17)	139 (11)
	16	**17**	**10**	**19**	**14**	**18**	**13**	**13**
Avril..	32 (4)	151 (9)	46 (3)	59 (4)	67 (6)	45 (3)	86 (7)	45 (5)
Mai...	139 (10)	176 (11)	45 (5)	125 (8)	92 (6)	54 (5)	153 (13)	85 (6)
Juin...	142 (11)	181 (13)	31 (4)	109 (6)	65 (6)	157 (10)	185 (11)	115 (12)
	313 (25)	508 (33)	122 (12)	293 (18)	224 (18)	256 (18)	424 (31)	245 (23)
	13	**15**	**10**	**16**	**12**	**14**	**14**	**11**
Juill...	9 (2)	302 (17)	106 (10)	31 (5)	157 (10)	32 (5)	122 (13)	65 (6)
Août...	60 (5)	187 (10)	82 (4)	63 (5)	55 (6)	98 (5)	83 (6)	160 (8)
Sept...	31 (4)	120 (6)	91 (5)	00 (0)	43 (2)	42 (5)	123 (8)	12 (2)
	100 (11)	609 (33)	279 (19)	94 (10)	255 (18)	172 (15)	328 (27)	237 (16)
	9	**18**	**15**	**9**	**14**	**11**	**12**	**15**
Oct....	137 (9)	267 (13)	131 (5)	56 (5)	110 (8)	75 (6)	152 (12)	152 (11)
Nov...	56 (6)	115 (11)	72 (5)	73 (9)	81 (7)	172 (9)	248 (11)	101 (7)
Déc...	48 (9)	69 (11)	57 (8)	126 (8)	79 (9)	111 (8)	140 (7)	141 (13)
	241 (24)	451 (35)	260 (18)	255 (22)	270 (24)	358 (23)	540 (30)	394 (31)
	10	**13**	**14**	**12**	**11**	**16**	**18**	**13**
Année.	857 (73)	1821 (116)	671 (50)	738 (55)	835 (66)	840 (59)	1517 (105)	1015 (81)
Val. moy...	**12**	**16**	**13**	**13**	**13**	**14**	**14**	**13**

1923.	Δ_h Σ. +	Δ_h Σ. −	Δ_0 Σ. +	Δ_0 Σ. −	Δ_u Σ. +	Δ_u Σ. −	Δ_w Σ. +	Δ_w Σ. −
Janv...	38 (5)	35 (3)	0 (0)	0 (0)	24 (1)	0 (0)	37 (4)	24 (4)
Fév...	15 (1)	100 (7)	0 (0)	0 (0)	88 (3)	0 (0)	36 (4)	43 (3)
Mars...	2 (1)	112 (5)	60 (8)	16 (2)	24 (1)	0 (0)	104 (9)	40 (3)
	55 (7)	247 (15)	60 (8)	16 (2)	136 (5)	0 (0)	177 (17)	107 (10)
	8	**16**	**8**	**8**	**27**	»	**10**	**11**
Avril..	27 (4)	57 (4)	53 (5)	52 (7)	130 (6)	20 (1)	00 (0)	00 (0)
Mai...	49 (2)	224 (12)	72 (10)	90 (12)	262 (17)	42 (3)	00 (0)	00 (0)
Juin...	34 (2)	275 (16)	83 (8)	118 (13)	405 (18)	24 (2)	00 (0)	00 (0)
	110 (8)	556 (32)	208 (23)	260 (32)	797 (41)	86 (6)	0 (0)	0 (0)
	14	**17**	**9**	**8**	**19**	**14**	»	»
Juill...	12 (1)	248 (15)	83 (11)	77 (8)	257 (13)	00 (0)	00 (0)	00 (0)
Août...	22 (1)	18 (2)	140 (8)	67 (6)	273 (7)	118 (7)	00 (0)	00 (0)
Sept...	17 (2)	37 (1)	69 (7)	38 (2)	32 (1)	161 (6)	00 (0)	00 (0)
	51 (4)	303 (18)	292 (26)	182 (16)	562 (21)	279 (13)	0 (0)	0 (0)
	13	**17**	**11**	**11**	**27**	**21**	»	»
Oct....	32 (3)	116 (8)	259 (17)	86 (6)	87 (6)	205 (10)	18 (3)	00 (0)
Nov...	34 (3)	49 (6)	77 (8)	90 (11)	120 (6)	87 (4)	19 (4)	21 (3)
Déc...	22 (3)	53 (4)	177 (19)	18 (2)	55 (5)	68 (8)	54 (7)	74 (8)
	88 (9)	218 (18)	513 (44)	194 (19)	262 (17)	360 (22)	91 (14)	95 (11)
	10	**12**	**12**	**10**	**15**	**16**	**6**	**9**
Année.	304 (23)	1324 (83)	1073 (101)	652 (69)	1757 (84)	725 (41)	268 (31)	202 (21)
Val. moy...	**11**	**16**	**11**	**9**	**21**	**18**	**9**	**10**

Les différences Δ englobent à la fois les erreurs de réception et les perturbations éventuelles que nous cherchons à mettre en évidence. On voit que d'un observatoire à l'autre l'écart avec la moyenne générale M atteint $0^s,008$ et que les observatoires les plus éloignés du point d'émission (Ottawa et Washington) ne présentent pas d'écart anormal; ce serait plutôt un observatoire relativement rapproché (Uccle).

Ainsi, pour les grandes distances considérées ici, la conclusion reste la même que pour celles de distances moyennes, sur lesquelles avaient porté les observations de 1922 : les écarts qui peuvent être attribués aux perturbations de transmission restent inférieurs à un centième de seconde de temps.

J'ajouterai quelques remarques suggérées par nos enregistrements.

Les nombres $D_{1,p}$, $D_{2,p}$ obtenus à Paris dépendent, dans une certaine mesure, de la *nature* de l'émission radiotélégraphique. Cette dépendance serait difficile à observer à l'oreille, mais elle est très nette sur les enregistrements. Même elle est assez considérable sur les signaux de Lyon 8^h (que nous ne considérons pas ici), quand l'émission est faite en ondes entretenues par *alternateur;* sans être nulle dans les émissions en ondes entretenues par *arc*, elle se manifeste aussi pour Lyon. Pour les émissions du poste Lafayette, les mêmes influences sont beaucoup moins prononcées, mais existent cependant, et les nombres $D_{1,p}$, $D_{2,p}$ ci-dessus en doivent être affectés.

La cause générale, avec l'alternateur, peut en être quelque irrégularité dans la rotation du *rotor*, car elle se manifeste surtout au début des signaux, au moment du changement de régime ; les premiers, 1, 2, ..., en sont affectés seuls, à l'exclusion des derniers. Ainsi il est utile de noter chaque fois la nature de l'émission, dans les postes où l'on peut en employer de plusieurs natures. En outre l'enregistrement, par sa précision même, donnera des indications sur la cause des perturbations, en permettant de voir si plusieurs postes sont affectés en même temps.

ÉLECTRICITÉ. — *Nouvelle méthode pour l'analyse harmonique des courbes de force électromotrice des alternateurs.* Note (1) de M. André Blondel.

La solution la plus parfaite pour l'étude de l'onde dans un alternateur est celle de l'analyseur harmonique à résonance qui a fait l'objet de ma

(1) Séance du 26 janvier 1925.

Communication du 11 novembre 1918 [1], en ayant soin seulement de grouper dans un même appareil 8 équipages de résonance réglée préalablement sur la fréquence fondamentale (50 périodes par exemple) et ses harmoniques impairs successifs (de rang 3 à 15).

J'exposerai ici une autre solution reposant sur un principe tout à fait différent et qui ne fait pas appel à la résonance; elle consiste à relever, au moyen d'un oscillographe, non pas l'onde même de l'alternateur, mais une courbe transformée ou « transfigurée » de cette onde et telle que les harmoniques supérieurs y figurent avec des amplitudes multipliées par des facteurs connus, et permettant la mesure de ces harmoniques avec une précision proportionnelle au coefficient de multiplication.

Dans ce qui suit, j'examinerai successivement un dispositif à amplificateur thermoionique, et un dispositif à condensateur.

1° *Transfiguration de la courbe oscillographique par amplificateur thermoionique.* — Les amplificateurs à fréquence musicale dits à basse fréquence, qui sont couramment employés aujourd'hui pour les réceptions téléphoniques, comportent, on le sait, des étages à transformateurs.

Pour la transfiguration des courbes oscillographiques, il convient de réaliser des conditions spéciales : d'une part, l'impédance du primaire de chaque transformateur doit être assez faible à côté de la résistance intérieure de la lampe pour ne pas modifier d'une manière sensible l'intensité du courant de plaque, produit par l'harmonique le plus élevé qu'on veut étudier. On peut en général admettre que pour l'harmonique 31, l'impédance du transformateur ne devra pas dépasser le $\frac{1}{5}$ de la résistance intérieure qui peut atteindre 50000 ohms avec les lampes dites « supermicros ». D'autre part, la tension appliquée par le secondaire du transformateur à la grille de la lampe suivante doit être proportionnelle à $n\omega$ en appelant n le rang de l'harmonique et ω la vitesse de pulsation de l'harmonique fondamental. On peut obtenir ce résultat en utilisant des transformateurs à circuit magnétique ouvert dont la réluctance magnétique est sensiblement constante et l'hystérésis négligeable; on peut établir des transformateurs de ce genre présentant dans leur circuit primaire une inductance d'environ 1 heury.

Avec un courant industriel de fréquence 50 périodes, la vitesse de pul-

---

[1] *Comptes rendus*, t. 167, 1918, p. 711. Voir aussi pour plus de détail les *Annales de Physique*, t. 10, novembre et décembre 1918, p. 195.

sation ω est 314 et pour l'harmonique n° 31 correspondant, $n\omega$ a atteint en chiffres ronds la valeur 10000; à l'inductance de 1 henry correspond une réactance de 10000 ohms, qui est bien égale au $\frac{1}{5}$ de la résistance interne de la lampe prévue.

Bien entendu, pour que les lampes ne déforment pas les ondes, on doit les faire travailler dans la partie rectiligne de la caractéristique de plaque et en maintenant la grille toujours négative de manière à éviter les courants de grille; il suffit pour obtenir ce résultat d'employer une tension de plaque suffisamment élevée (200 à 250 volts pour les lampes « supermicro ») et de mettre en circuit sur la grille une batterie auxiliaire donnant un potentiel négatif de quelques volts, qu'on règle suivant la forme de la caractéristique.

Sur la grille de la première lampe, portée à 5 volts, on peut faire agir une force électromotrice de 2 à 3 volts environ prise sur un potentiomètre de plusieurs milliers d'ohms (sans induction) branchée en dérivation sur l'alternateur à étudier; dans le circuit de la plaque alimentant le primaire du transformateur à rapport $\frac{1}{5}$ dont le secondaire agit sur la grille de la lampe suivante, la variation de courant produite atteint alors une amplitude d'environ 1 milliampère : la réactance du transformateur correspondant à 1 henry étant 314 ohms, n'absorbe qu'une force électromotrice d'amplitude 0,314 volt : le secondaire donnera une tension 5 fois plus grande, soit 1,5 volt (d'amplitude) sur la grille de la lampe suivante, celle-ci se trouve à peu près dans les mêmes conditions que la première lampe et peut recevoir dans son circuit secondaire de la même manière un transformateur agissant sur la troisième lampe.

Dans le circuit de plaque de la troisième lampe, à grande puissance, est intercalé l'oscillographe enregistreur dont la résistance est de l'ordre de 5 à 10 ohms, donc négligeable. Pour obtenir la sensibilité suffisante dans cette dernière lampe, il est nécessaire d'intercaler entre elle et les étages à transformateurs qui précèdent un amplificateur courant continu d'une ou deux lampes à amplification rigoureusement proportionnelle [1].

2° *Transfiguration de la courbe par un condensateur.* — L'oscillographe est relié aux bornes d'un réseau de grande capacité par l'intermédiaire

---

[1] J'ai décrit la construction de cet amplificateur, avec la collaboration de M. Touly en 1919, dans les *Comptes rendus*, t. 119, p. 399, et avec plus de détails, dans la *Revue générale d'Électricité*, t. 6, 1919, p. 441; les conditions à remplir pour obtenir la caractéristique bien rectiligne ont été exposées avec détail.

d'une capacité C, et est parcouru par des courants harmoniques

$$I_n = n\omega C U_n \tag{1}$$

en appelant ω la pulsation du courant principal, n le rang de l'harmonique, U_n l'amplitude de tension du réseau correspondant à cet harmonique et I_n l'amplitude du courant harmonique correspondant de rang n. L'oscillographe étant établi de manière à présenter une sensibilité constante pour tous les harmoniques depuis le rang 1 jusqu'au rang maximum qu'on veut étudier (par exemple $n = 31$), la courbe transfigurée donne pour la mesure de chaque harmonique l'amplitude réelle multipliée par n. Pour éviter les erreurs dues à l'hystérésis diélectrique, il faut employer exclusivement des transformateurs en mica; on évite l'effet Dolezalek dans les conducteurs, en faisant ceux-ci très courts et les formant de fils divisés; enfin, il faut remarquer que la présence du condensateur réduit l'amortissement propre de l'oscillographe et que cet amortissement doit être réglé à une valeur différente de celle que l'on obtient pour un oscillographe mis en série avec de simples résistances ohmiques.

D'autre part [1], l'alternateur présente toujours une self-induction notable ainsi que les transformateurs qui le relient à l'appareil (la self-induction considérée peut varier entre 0,60 millihenry et 20 millihenrys). Le circuit dans lequel se trouve l'oscillographe est donc en réalité un circuit oscillant présentant une fréquence propre plus ou moins élevée, qui peut varier par exemple de 1000 à 5000 périodes par seconde ; l'équation (1) donnée ci-dessus est ainsi à remplacer par

$$I_n = \frac{n\omega C U_n}{\sqrt{(CRn\omega)^2 + (1 - n^2\omega^2 CL)^2}} \times \frac{1}{\sqrt{(An\omega)^2 + \left(1 - n^2\omega^2 \frac{K}{D}\right)^2}}, \tag{2}$$

dans laquelle L est la self induction totale du circuit et R sa résistance, qui comprend les résistances parasites dues à l'hystérésis diélectrique et à l'effet Dolezalek. D représente le couple directeur de l'équipage mobile,

---

(1) On épure bien entendu l'onde de cet alternateur en branchant en dérivation entre ses bornes un circuit bouchon réglé sur l'harmonique fondamental que l'on emploie pour l'étalonnement, de façon à filtrer les autres harmoniques et laisser subsister celui-là seulement.

K son moment d'inertie, A le couple d'amortissement dû aux effets mécaniques, viscosité des fils et de l'huile d'amortissement, courants induits [1], etc.

Les deux radicaux ont la même forme et l'on peut par conséquent rendre les variations de sensibilité négligeables pour l'oscillation électrique aussi facilement que pour l'oscillation mécanique en choisissant convenablement les degrés d'amortissement; l'expression des degrés d'amortissement mécanique et électrique est respectivement

$$\frac{A}{2\sqrt{KC}} \quad \text{et} \quad \frac{R}{2\sqrt{\frac{L}{C}}}.$$

Comme je l'ai établi dans la théorie des oscillographes [2] le degré d'amortissement doit être pris égal à 1 quand on enregistre des phénomènes discontinus et réduit à une valeur comprise entre 0,50 à 0,60 quand on étudie les phénomènes périodiques, comme c'est le cas ici. Le degré d'amortissement 0,50 donne au premier facteur du radical la valeur $An\omega = 1$. La seconde parenthèse ayant une valeur très voisine également de 1 pour $n = 1$, on voit que le radical varie entre les deux valeurs sensiblement 1 pour l'harmonique 1 et pour l'harmonique n; pour les valeurs intermédiaires; le radical subit des variations de l'ordre de 15 pour 100 au maximum pour l'harmonique de rang moyen.

En ayant soin de réaliser des fréquences propres électrique et mécanique de l'ordre de 3000 p : s, on peut par ces réglages d'amortissement obtenir que l'erreur croisse depuis 0 jusqu'à 10 pour 100 au maximum pour les harmoniques de rang 1 à 31, et que dans ces limites l'amplitude de chaque harmonique soit multipliée par son rang [3].

J'ai obtenu par cette méthode très simple des courbes transformées donnant très facilement les valeurs précises des harmoniques 5 à 15 qu'on rencontre généralement dans les alternateurs industriels; en particulier les harmoniques 5 et 7 assez importants produits par la saturation du fer.

---

(1) Ces courants induits, étant presque complètement déwattés, ne produisent ici qu'un amortissement négligeable.

(2) *Comptes rendus*, t. **116**, 1893, p. 502 et 748, et avec plus de détails l'*Éclairage électrique*, t. **33**, 1902, p. 115.

(3) On emploiera par exemple sur 1000 volts un condensateur de 0,10 à 0,16 microfarad; ou sous 1000 volts un condensateur de 1 à 1,5 microfarad.

3° *Transfiguration par condensateurs et transformateurs.* — Au lieu de mettre directement en circuit l'oscillographe, on peut l'attaquer par un transformateur dont le primaire est en circuit avec le condensateur (en ayant soin que l'inductance du primaire n'allonge pas trop la période du circuit électrique) et dont le secondaire alimente un amplificateur à courant continu, comme il est dit plus haut, et dont la dernière lampe alimente l'oscillographe.

L'emploi de l'amplificateur est nécessaire dans ce montage pour obtenir la sensibilité suffisante; par cette méthode, on réalise une amplification des harmoniques proportionnelle à n^2 d'une manière plus simple que dans la première méthode. En réalité il y a avantage à combiner les méthodes 2 et 3 au moyen d'un inverseur permettant de passer rapidement de l'un des montages à l'autre; le montage 2 donne alors avec une précision suffisante les rapports des amplitudes des premiers harmoniques (par exemple 3 à 9) et le second montage permet de calculer les rapports des amplitudes des harmoniques supérieurs par rapport à l'un des précédents harmoniques, car dans la courbe transfigurée proportionnellement à n^2, l'amplitude de l'harmonique fondamental n'est plus mesurable.

En résumé, ces méthodes donnent une solution très pratique, surtout la méthode n° 2 qui est la plus facile.

MAGNÉTISME. — *Équation d'état magnétique et variation du moment atomique.* Note de M. **Pierre Weiss**.

On peut établir l'équation d'état magnétique (relation entre l'aimantation spécifique σ, le champ H et la température T) d'une substance ferromagnétique au moyen de l'équation d'état des substances paramagnétiques modifiée par l'addition, au champ extérieur H, d'un champ moléculaire H_m qui représente les actions mutuelles des porteurs de moments.

Comme loi du paramagnétisme j'ai adopté celle que Langevin a établie par la mécanique statistique et, pour le champ moléculaire, j'ai admis l'expression particulièrement simple $H_m = n\sigma$, où n est une constante. L'équation d'état ainsi obtenue rendait compte d'un grand nombre de faits jusqu'alors inexpliqués et, dans l'ensemble, représentait d'une manière assez satisfaisante la relation entre σ, H et T.

Cependant il restait certaines divergences systématiques dont le carac-

tère irréductible est apparu notamment dans l'analyse du réseau extrêmement précis des isothermes du nickel [1] que l'on possède actuellement.

Il y a donc lieu, non de rejeter la théorie, mais de la retoucher. Or elle contient l'hypothèse de l'invariabilité du moment atomique, introduite par la loi du paramagnétisme et se trouve par là en contradiction avec le fait que l'atome de nickel a 3 magnétons au zéro absolu et 8 magnétons entre 750° et 1150° absolus. Je m'attendais, à vrai dire, à ce que le réseau des isothermes se décomposât en plusieurs réseaux partiels, séparés par des régions de changement d'état et tels qu'une équation du type essayé puisse s'appliquer à chacun d'eux.

L'examen attentif des faits n'ayant permis de reconnaître aucune discontinuité indiquant un changement d'état, j'ai été amené à introduire la variabilité du moment atomique parmi les hypothèses fondamentales. Mais d'après ce qu'on sait de la discontinuité des valeurs des moments atomiques, la continuité apparente de la variation ne peut être que statistique. A chaque instant se trouveraient en présence des atomes de nickel à 3 et à 8 magnétons en proportion variable. Le nickel serait, en somme, une sorte d'alliage à titre variable des deux composants de moments différents. On ne peut s'empêcher de remarquer en passant que l'accroissement de moment — 5 magnétons — éprouvé par un atome quand il passe de l'un des états à l'autre est précisément le moment élémentaire donné par la théorie des quanta.

On peut admettre que la théorie fondée sur la mécanique statistique et le champ moléculaire s'applique à n'importe quel alliage fictif, de titre invariable, des deux nickels. On cherchera alors quelle doit être la valeur de ce titre pour que l'aimantation σ, calculée, soit celle que donne l'expérience pour un système de valeurs de H et T. Le contrôle du point de vue nouveau résidera dans la cohérence des titres ainsi déterminés.

Les titres trouvés de cette manière ont été représentés, dans la figure ci-après, en fonction de la température absolue. Les ordonnées représentent ces titres exprimés en pour cent de nickel à 8 magnétons.

Les données utilisées pour le tracé de la courbe sont les suivantes :

1° Du zéro absolu au Point de Curie Θ, situé à 631° absolus, le titre est déduit de la grandeur de l'aimantation spontanée. La tangente T' au zéro absolu s'obtient en s'appuyant sur le fait (exact au moins en première

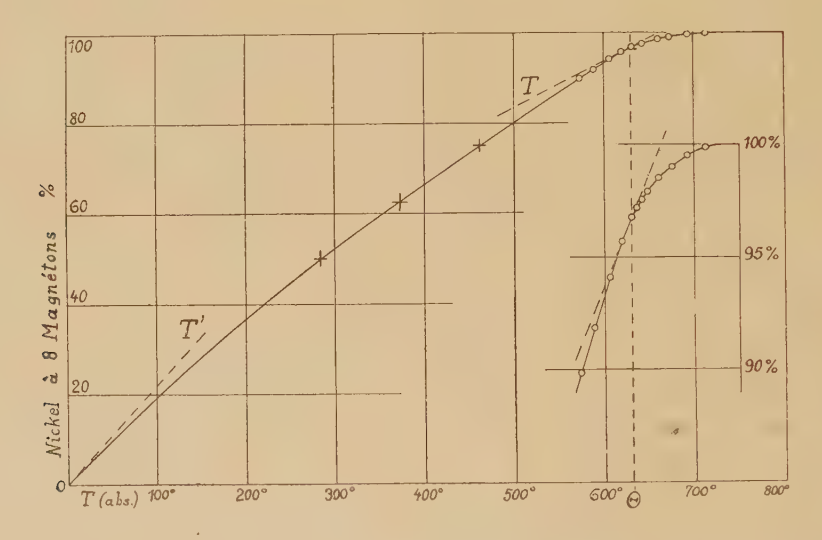
---

[1] Pierre Weiss et R. Forrer, *Comptes rendus*, t. 178, 1924, p. 1046 et 1670.

approximation), qu'à cette température la tangente à la courbe de l'aimantation spontanée en fonction de la température est horizontale.

2° La tangente T au Point de Curie Θ est donnée par la discontinuité de la chaleur spécifique vraie.

3° Le Point de Curie Θ à 631° qui correspond à l'apparition effective de l'aimantation spontanée est différent du Point de Curie, situé à 649°, que donne la variation linéaire de l'inverse du coefficient d'aimantation entre 750° et 1150°. Ce *déplacement du Point de Curie* permet de calculer le titre à 631°; on trouve 96,8 pour 100.



4° Entre 631° et 750° le titre est donné par la variation thermique, jusqu'ici inexpliquée, du coefficient d'aimantation paramagnétique dans cet intervalle de température.

La courbe a une allure régulière dans toute son étendue. En particulier, les deux parties situées de part et d'autre de $\Theta = 631°$ se raccordent et leur tangente commune est celle que donne la discontinuité de la chaleur spécifique. (La figure de droite représente le détail de la région voisine de Θ, les titres étant portés à une échelle quintuple.) Or jusqu'ici aucune théorie n'avait réussi à établir un lien entre les valeurs de l'aimantation mesurées de part et d'autre de Θ. La continuité du titre et de sa dérivée première au point Θ fournit donc une vérification de la théorie nouvelle.

Nous avons représenté la variation du titre en fonction de la température. Or, en même temps que la température varie de O à Θ, l'aimantation spontanée, et avec elle le champ moléculaire, tombent de leur valeur maximum

à zéro. De ce que l'intervalle de variation du titre (0° à 750°) n'est pas très différent de celui (0° à 631°) de la variation de l'aimantation spontanée et qu'à 631° la variation du titre est achevée à 3,2 pour 100 près, on peut conclure que la variation de température n'est peut-être ni la seule ni la plus importante cause du changement de titre. Le champ moléculaire intervient sans doute aussi dans le phénomène intra-atomique par lequel le nickel passe de 3 à 8 magnétons.

Sir **Robert A. Hadfield** adresse en hommage à l'Académie les Conférences qu'il a faites à l'Université d'Oxford, intitulées : *Metallurgy and its Influence on modern Progress*.

ÉLECTIONS.

Par la majorité absolue des suffrages, M. **L. Lindet** est élu membre de la *Commission supérieure des inventions*, en remplacement de M. *Maurice Leblanc*, décédé.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à l'élection d'un Membre de la Section de Géographie et Navigation, en remplacement de M. *E. Bertin*, décédé.

Au premier tour de scrutin, le nombre de votants étant 58,

M. Eugène Fichot obtient.	46	suffrages
M. Charles Doyère »	7	»
M. G. Perrier »	3	»
M. Félix Arago »	1	suffrage
M. Jean Tilho »	1	»

M. **Eugène Fichot**, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est proclamé élu.

Son élection sera soumise à l'approbation de M. le Président de la République.

CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Synthèses et catalyses industrielles. Fabrications minérales*, par Paul Pascal. (Présenté par M. H. Le Chatelier.)

2° *Métallurgie de cuivre et alliages de cuivre*, par Altmayer et Léon Guillet. (Présenté par M. H. Le Chatelier.)

3° *Nova Caledonia. Recherches scientifiques en Nouvelle-Calédonie et aux îles Loyalty : A. Zoologie.* Vol. IV, Livre I. Fritz Sarasin. *Über die Tiergeschichte der Länder des Südwestlichen Pazifischen Ozeans auf Grund von Forschungen in Neu-Caledonien und auf den Loyalty-Inseln.* (Présenté par M. E.-L. Bouvier.)

4° *The Disaster of September* 1st, 1923, *as it affected Tokyo Imperial University and other Places.* (Volume offert à ceux qui ont apporté leur aide à la restauration de la bibliothèque de l'Université impériale de Tokio.)

THÉORIE DES FONCTIONS. — *Sur la possibilité de la définition générale de la dérivée, de l'intégrale et de la sommation des séries divergentes.* Note (1) de M. A. **Kolmogoroff**, présentée par M. Émile Borel.

I. Tout procédé de dérivation généralisée, valable dans les applications, doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° La dérivée généralisée coïncide avec la dérivée ordinaire si cette dernière existe ;

2° Si l'on a $\varphi(x) = af(x)$, la fonction φ est dérivable dans les mêmes points que f et l'on a $\varphi'(x) = af'(x)$;

3° Si l'on a $\varphi(x) = f(ax)$ et la fonction f est dérivable dans le point ax_0, on a $\varphi'(x_0) = af'(ax_0)$;

4° Si l'on a $\varphi(x) = f(x+h)$ et la fonction f est dérivable dans le point $x_0 + h$, on a $\varphi'(x_0) = f'(x_0 + h)$;

5° f_1 et f_2 étant deux fonctions dérivables dans le point x_0, la fonction

(1) Séance du 26 janvier 1925.

$\varphi(x) = f_1(x) + f_2(x)$ est aussi dérivable dans x_0 et

$$\varphi'(x) = f'_1(x) + f'_2(x).$$

Si l'on veut introduire des dérivées infinies, on doit faire les conventions suivantes :

si

$$a > 0, \qquad a.+\infty = +\infty, \qquad a.-\infty = -\infty;$$

si

$$a < 0, \qquad a.+\infty = -\infty, \qquad a.-\infty = +\infty$$

$$+\infty + a = +\infty, \qquad -\infty + a = -\infty.$$

Dans les conditions précédentes, si

$$F(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos 3^n x}{3^n}$$

a une dérivée, finie ou infinie, sur un ensemble de mesure positive, cette dérivee est une fonction non mesurable.

II. Si l'on a un procédé de sommation des séries divergentes qui vérifie les conditions

(1) $$\sum_{n=1}^{\infty} v_n = v_1 + \sum_{n=1}^{\infty} v_{n+1},$$

(2) $$\sum_{n=1}^{\infty} a v_n = a \sum_{n=1}^{\infty} v_n,$$

et si l'on pouvait définir une somme, finie ou infinie, déterminée pour chaque série de la forme

$$\sum_{n=1}^{\infty} \sin 3^n x,$$

on pourrait donner un exemple effectif d'une fonction non mesurable.

III. Pour toutes les définitions de l'intégrale, on a :

(1) $$\int_a^b f(x)\,dx + \int_b^c f(x)\,dx = \int_a^c f(x)\,dx,$$

(2) $$\int_a^b k f(x)\,dx = k \int_a^b f(x)\,dx,$$

(3) $$\int_{ka}^{kb} f(kx)\,dx = k \int_a^b f(x)\,dx.$$

Dans ces conditions, si l'on parvenait à définir des intégrales

$$\int_0^1 f_t(x)\,dx,$$

finies ou infinies, pour tous les points t d'un ensemble de mesure positive, les fonctions f_t étant définies plus loin, on pourrait donner un exemple d'une fonction non mesurable $\mathfrak{L}$:

$$f_t = 2^n \sin 3^n x \qquad \text{quand} \qquad \frac{1}{2^{n-1}} \geqq x > \frac{1}{2^n}.$$

Les démonstrations sont assez longues, mais presque évidentes.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Sur la détermination expérimentale du paramètre de précision.* Note de M. **J. Haag**, présentée par M. Émile Borel.

Je demande la permission de revenir sur ma Note du 5 janvier [1], pour signaler que le résultat du paragraphe 2 n'est pas nouveau, comme je l'avais cru tout d'abord. M. Paul Lévy m'apprend en effet qu'il figure, depuis plusieurs années, dans son cours de l'École Polytechnique, avec une démonstration d'ailleurs plus élémentaire et plus rapide que la mienne, car elle consiste à observer tout simplement que l'erreur apparente x'_i est une combinaison linéaire des erreurs x_i et obéit, par conséquent, à la loi de Gauss, ce qui permet d'obtenir immédiatement la valeur probable de n'importe quelle puissance de sa valeur absolue.

La même méthode peut être utilisée pour calculer la valeur probable de $(e_1 e_2)^p$, dans le cas où p est pair [2], car on peut remplacer les écarts e_i par les erreurs algébriques x'_i. Mais ceci n'est plus permis lorsque p est impair et le calcul direct de mon paragraphe 3 paraît alors inévitable.

MÉCANIQUE. — *Sur l'action euclidienne à distance.* Note [3] de M. **J. Sudria**, présentée par M. G. Kœnigs.

Nous avons indiqué, dans une précédente Note [4], comment il convenait de rectifier le raisonnement par lequel, dans la théorie de l'action eucli-

---

(1) *Comptes rendus*, t. 180, 1925, p. 41.

(2) On peut aussi développer l'expression algébrique $(e_1 e_2)^p$ en fonction de x_i et il n'est alors plus nécessaire d'admettre la loi de Gauss.

(3) Séance du 26 janvier 1925.

(4) *Comptes rendus*, t. 178, 1924, p. 1790.

dienne de déformation, on arrive à l'expression de cette action pour la ligne, la surface ou le corps déformables. Une étude analogue, faite à propos de l'action euclidienne à distance, nous a conduit non seulement à la révision du raisonnement, mais aussi à des conclusions différentes de celles jusqu'ici admises. Rappelons le problème :

« Soit un système discret de n trièdres dans lequel chaque trièdre est caractérisé par l'indice i ($i = 1, 2, \ldots, n$). Soit $M_i x'_i y'_i z'_i$ le trièdre d'indice i, dont le sommet M_i aura pour coordonnées x_i, y_i, z_i et les axes $M_i x'_i$, $M_i y'_i$, $M_i z'_i$ pour cosinus directeurs α_i, α'_i, ..., γ''_i par rapport à trois axes fixes Ox, Oy, Oz. Nous supposerons que les quantités x_i, y_i, z_i, α_i, α'_i, ..., γ''_i sont des fonctions de t.

» Envisageons une fonction W de deux positions infiniment voisines du système de trièdres $M_i x'_i y'_i z'_i$, c'est-à-dire une fonction de t, de x_i, y_i, z_i, α_i, α'_i, ..., γ''_i et de leurs dérivées premières par rapport à t. Proposons-nous de déterminer quelle doit être la forme de W pour que cette fonction reste invariante dans toute transformation infinitésimale du groupe des déplacements euclidiens (¹). »

La répétition du raisonnement au sujet duquel nous avons fait les observations précédentes a conduit les auteurs de la Théorie à exprimer la fonction W au moyen des arguments suivants :

$$\xi_i, \quad \eta_i, \quad \zeta_i, \qquad p_i, \quad q_i \quad r_i$$

et

$$r_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2,$$

$$\psi_{ij} = \frac{dx_i}{dt}\frac{dx_j}{dt} + \frac{dy_i}{dt}\frac{dy_j}{dt} + \frac{dz_i}{dt}\frac{dz_j}{dt},$$

$$\lambda_{ijk} = (x_i - x_j)\frac{dx_k}{dt} + (y_i - y_j)\frac{dy_k}{dt} + (z_i - z_j)\frac{dz_k}{dt},$$

ξ_i, η_i, ζ_i et p_i, q_i, r_i étant les composantes suivant les axes du trièdre mobile, de la vitesse du point M_i et de la vitesse de rotation instantanée du trièdre de sommet M_i.

Par contre, en opérant comme dans notre précédente Note, nous avons obtenu le résultat très différent suivant :

En posant

$$X_i = x_i - x_n, \qquad Y_i = y_i - y_n, \qquad Z_i = z_i - z_n,$$

l'expression de W, obtenue par intégration d'une équation aux dérivées

---

(¹) E. et F. Cosserat, *Théorie des corps déformables*.

partielles, est

$$W(X_i^2+Y_i^2+Z_i^2,\ \alpha_n X_i+\alpha'_n Y_i+\alpha''_n Z_i,\ \beta_n X_i+\beta'_n Y_i+\beta''_n Z_i,\ \gamma_n X_i+\gamma'_n Y_i+\gamma''_n Z_i$$
$$+\alpha_n\alpha_i+\alpha'_n\alpha'_i+\alpha''_n\alpha''_i,\ \beta_n\beta_i+\beta'_n\beta'_i+\beta''_n\beta''_i,$$
$$\gamma_n\gamma_i+\gamma'_n\gamma'_i+\gamma''_n\gamma''_i;\ \xi_i,\ \eta_i,\ \zeta_i,\ p_i,\ q_i,\ r_i).$$

Dans cette expression, trois arguments non distincts des autres ne sont introduits que pour la symétrie. On peut encore exprimer W ainsi

$$W(\mathbf{m}_i,\ \mathbf{m}_i\times\mathbf{i}_i,\ \mathbf{m}_i\times\mathbf{j}_i,\ \mathbf{m}_i\times\mathbf{k}_i,\ \mathbf{i}_n\times\mathbf{i}_i,\ \mathbf{j}_n\times\mathbf{j}_i,\ \mathbf{k}_n\times\mathbf{k}_i),$$

$\mathbf{m}_i$ désignant le vecteur qui va du point M_n au point M_i, $\mathbf{i}_i$, $\mathbf{j}_i$ et $\mathbf{k}_i$ étant trois vecteurs unités portés par les axes du trièdre mobile, enfin $\mathbf{v}_i$, $\boldsymbol{\omega}_i$ étant les vecteurs vitesse du point M_i et rotation instantanée du trièdre de sommet M_i rapportés à ce trièdre.

On vérifie facilement que les arguments figurant dans la forme donnée par MM. Cosserat se retrouvent dans notre résultat. La réciproque n'est pas vraie. La forme jusqu'ici admise pourra donc ne pas convenir à certaines lois de forces à distance. Notamment, si les points M_i sont au repos, les arguments subsistant dans la forme donnée par MM. Cosserat ne dépendent plus de l'orientation des molécules matérielles situées en ces points. Dans notre forme, cette orientation subsiste. Or il est facile de citer des phénomènes où cette orientation intervient; tels sont ceux qui ont conduit à la notion de doublet électrique ou magnétique et que l'on étudie sous le nom de polarisation des masses diélectriques ou magnétiques.

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Sur le mouvement d'un point matériel soumis à l'attraction d'un sphéroïde aplati.* Note de M. **P. Fatou**, présentée par M. E. Goursat.

Nous supposerons que l'ellipsoïde principal d'inertie est de révolution et que le potentiel en un point exterieur et suffisamment éloigné du corps attirant est de la forme

$$U=\frac{\mu}{R}+\frac{K}{R^3}\left(\frac{1}{3}-\sin^2\varphi\right), \tag{1}$$

R, φ, θ désignant les coordonnées polaires du point considéré [1]. En

[1] Pour la justification de cette formule et la signification de K, voir par exemple Tisserand, *Traité de Mécanique céleste*, t. 2, p. 210.

combinant l'intégrale des forces vives avec l'intégrale des aires dans le mouvement projeté sur le plan de l'équateur, on obtient de suite la relation

$$(2) \qquad 2(U+h)-\frac{C^2}{r^2}>0,$$

r désignant la projection du rayon vecteur sur le plan de l'équateur, h la constante des forces vives égale à $\frac{v^2}{2}-U$. Si le champ de variation des conditions initiales est convenablement choisi, l'équation du troisième degré en R que l'on obtient en égalant à zéro le premier membre de (2) où l'on fait $\varphi=0$, $r=R$, a ses trois racines réelles et positives, et la valeur initiale R_0 est comprise dans l'intervalle des deux plus grandes racines. Cela se voit aisément en raisonnant par continuité à partir du mouvement káplérien osculateur ($K=0$), et l'on vérifie d'ailleurs que ces conditions sont vérifiées si l'on a par exemple :

$$h<0,$$
$$C^4>18\mu K,$$
$$R_0>\frac{6K}{C^2\left(1+\sqrt{\frac{2}{3}}\right)}.$$

S'il en est ainsi, l'inégalité (2) montre que la trajectoire est tout entière située à l'intérieur d'une surface annulaire de révolution n'ayant aucun point commun avec l'axe Oz : *il y a stabilité au sens de Laplace*, et l'on obtient à cet égard un résultat bien plus complet que celui qui résulte de l'intégrale de Jacobi dans le problème restreint des trois corps.

En outre, l'équation du mouvement projeté sur l'axe de révolution étant de la forme

$$\frac{d^2 z}{dt^2}+Hz=0,$$

on vérifie que H, fonction inconnue de t, reste comprise entre deux quantités positives α^2 et β^2 faciles à évaluer et l'on en déduit que le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du mobile dans le plan de l'équateur est compris entre $\frac{\pi}{\alpha}$ et $\frac{\pi}{\beta}$, z^2 ayant un seul maximum dans chacun de ces intervalles.

Remarquons que, même en conservant l'hypothèse $h<0$, ces considérations ne s'appliquent pas à certaines trajectoires, notamment celles qui

sont situées dans un plan méridien, pour lesquelles on sait seulement (Poincaré) qu'il y a *stabilité à la Poisson* pour *presque toutes* les conditions initiales.

NAVIGATION AÉRIENNE. — *Mesure du vent en avion et correction de ses effets sur la route suivie.* Note [1] de MM. **A. Barbaud** et **R. Le Petit**, présentée par M. Émile Borel.

En vue du tracé rapide des droites de hauteur, nous avons exposé, dans une Note antérieure [2], une technique de calcul appropriée aux besoins de la navigation aérienne. Mais on ne tire un parti avantageux d'une droite de hauteur que si elle est obtenue avec des données prises dans les limites de la précision requise pour l'estime; il y a donc lieu d'évaluer les causes qui concourent à un désaccord très grand entre le point vrai et le point estimé et parmi lesquelles l'action du vent est prépondérante. Surtout pour l'aviateur survolant de larges espaces de mer, on conçoit la nécessité de déterminer l'influence des courants aériens qui l'entraînent.

Nous nous proposons de mesurer la direction et la vitesse du vent en prenant celles de l'avion pour base et de corriger la route de la dérive à l'aide d'un instrument fondé sur les principes suivants :

Un avion en vol, soumis à un vent de vitesse v et de direction a pendant t heures, se trouve dérivé de vt milles dans la direction a avec l'air environnant *sans que les caps de la route que l'on veut suivre et de l'avion ne cessent de se confondre.* Une représentation géométrique montre que la résultante des vitesses de l'avion et du vent coupe la route prise pour origine sous un angle de dérive variable avec la direction et l'intensité du vent. Lorsque les directions du vent et de la route coïncident, l'angle de dérive est nul; il est maximum si l'intersection de ces directions se fait à angle droit : dans l'un ou l'autre cas, la résultante se traduit par un accroissement positif ou négatif. La seule connaissance de l'angle de dérive est insuffisante pour corriger une route du monde de l'influence du vent; il est essentiel d'avoir aussi la direction et l'intensité de ce dernier, éléments qui permettront, en outre, d'évaluer la vitesse utile sur la route que l'on se propose de suivre.

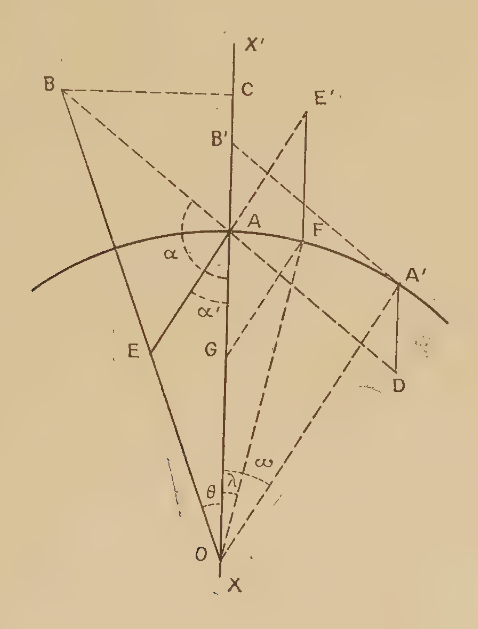
Soient pour la route XX', OA la longueur du parcours horaire de l'avion

---

(1) Séance du 19 janvier 1925.

(2) *Comptes rendus*, t. 178, 1924, p. 1959.

et, à la même échelle, AB l'intensité du vent de direction définie par l'angle α. Au bout d'une heure, la résultante des vitesses de l'avion et du vent sera OB, le parcours utile OC et BC mesurera l'écart de route correspondant à l'angle de dérive θ. Pour suivre la route XX'; le pilote sera contraint de tenir un cap OA', *différent de* XX', tel que A'B', soit parallèle et égal à AB; l'angle dont il faudra corriger le cap d'origine, aura pour mesure l'arc AA', de rayon OA, et le chemin utilement parcouru sera



alors OB'. Remarquons qu'en corrigeant la route de ω, l'action latérale du vent s'étant accrue, on a $\theta < \omega$ et il est clair que ω est déterminé par le point A' qui s'obtient en menant du point D, symétrique à l'opposé de B, une parallèle à XX'. En raisonnant de même pour les vents de direction autre que α mais de vitesses aboutissant à la droite OB ou à son prolongement, on obtiendra les caps à tenir et les parcours utiles qui leur correspondent : ainsi, pour que la route réelle de l'avion coïncide avec XX', le vent de direction α' et d'intensité AE nécessitera le cap OF auquel correspondra OG comme parcours utile; dans ce cas, on aura $\theta > \lambda$, l'axe longitudinal de l'avion s'étant rapproché du lit du vent. Et comme θ est constant pour les vents de direction quelconque pourvu que les limites d'intensité soient le point A et la droite OB, il s'ensuit que OB est le lieu géométrique de tous les vents affectant XX' du même angle de dérive. Cette propriété s'étend évidemment au faisceau du secteur BOX' dont chaque droite inter-

ceptera les vecteurs issus de A en des points qui permettront d'obtenir, à l'aide d'une simple construction géométrique, les éléments de correction nécessités par la direction autant que par la vitesse du vent.

Au-dessus des continents, la mesure de θ n'offre pas de difficulté; il suffit de relever au taximètre un point survolé un peu auparavant; en haute mer, il est nécessaire d'improviser le repère par un procédé quelconque dont le plus usité est la bouée de fumée. En ce qui concerne la direction du vent, elle se déduit avec une grande approximation en annulant l'angle de dérive, ce qui s'obtient en manœuvrant de manière à placer l'avion dans le lit du vent (¹); dans le cas de la figure, on a, par exemple, pour valeur de α', la différence des caps XX′ et EA. A ces fins, nous avons construit sur un fond blanc un faisceau de droites réparties de part et d'autre de XX′ et coupant l'arc divisé de rayon OA pris pour unité de vitesse et gradué en centièmes. En superposant à ce dispositif deux rapporteurs transparents assujettis à glisser le long de la droite XX′, on obtient, avec une réglette parallèle à cette dernière et qu'on déplace transversalement, toutes les constructions ci-dessus. Enfin la réglette comporte un curseur permettant les conversions nécessitées par les différentes unités de vitesse; nous avons ainsi réalisé un appareil qui nous a permis, en cours de vol, de déterminer, en quelques secondes, les éléments de la dérive.

ÉLECTRICITÉ. — *Appareil enregistreur pour le contrôle de l'isolement des fils émaillés.* Note (²) de M. J. Cathala, présentée par M. Brillouin.

L'emploi des fils électriques isolés par un simple revêtement d'émail ou vernis isolant s'est beaucoup développé pendant ces dernières années, par suite des avantages nombreux que présente ce mode d'isolement. Malheureusement, le fil obtenu par ce procédé présente toujours un certain nombre de défauts microscopiques où l'isolement est nul.

On a recours pour déceler de pareilles imperfections à l'essai dit « au bain de mercure ». Le fil, dont l'âme est reliée à un des pôles d'une source de courant convenable, traverse un bain de mercure relié à l'autre pôle par un circuit comportant un indicateur de courant. La longueur du bain, la

(¹) Tous les pilotes reconnaissent aisément que l'avion se place dans le lit du vent, à la façon particulière dont il se comporte.

(²) Séance du 26 janvier 1925.

vitesse de passage, le voltage d'essai, le nombre de défauts admissibles sont spécifiés dans les divers cahiers des charges.

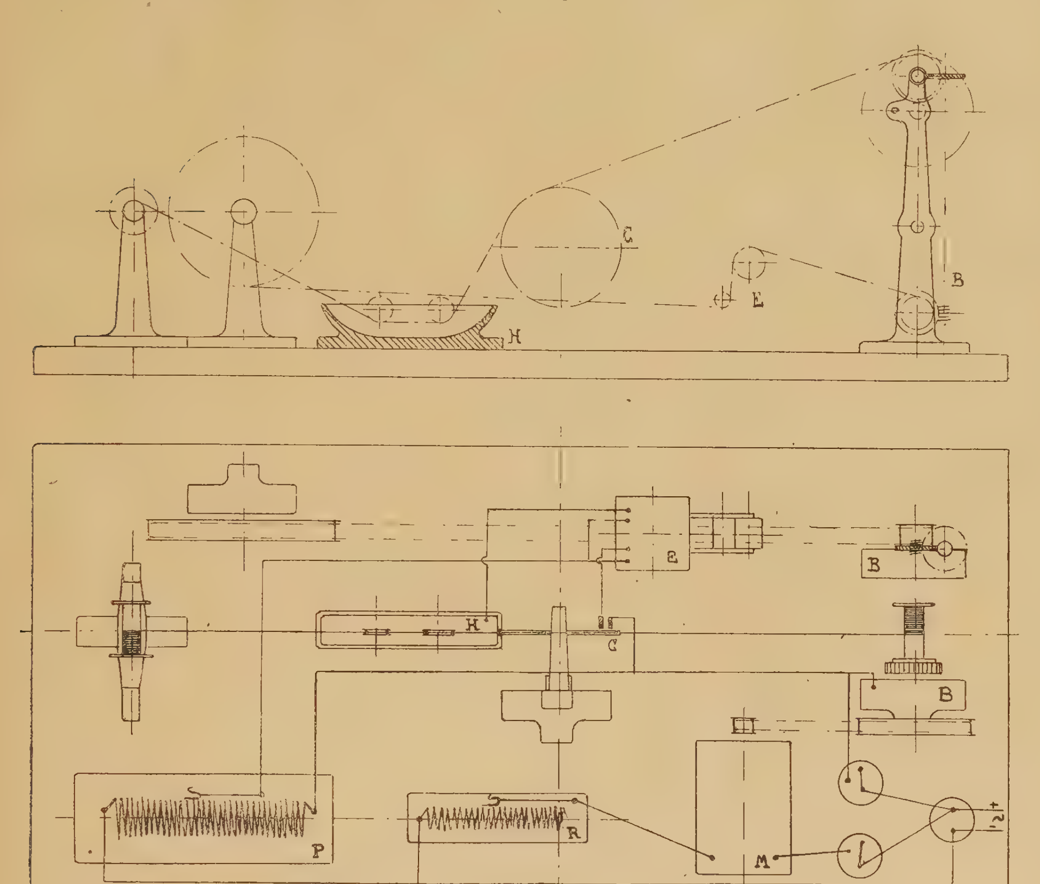


Fig. 1.

Généralement on emploie comme indicateurs simultanés de courant une lampe et un compteur totaliseur. En fait, ce genre d'indicateur ne renseigne que d'une façon illusoire sur le principal de l'essai : la position réciproque des défauts le long du fil. L'intervalle entre les éclats successifs de la lampe ne donne qu'une impression très imparfaite de la distance entre deux défauts, par suite de la rapidité de l'essai (20 m/sec environ). Enfin lorsque plusieurs défauts se trouvent dans le bain en même temps, le compteur ne fonctionne qu'une fois et seules les variations de durée des éclats peuvent en donner une indication forcément très imparfaite.

Nons avons préféré recourir à une méthode graphique d'enregistrement

des défauts en fonction de la longueur du fil essayé. On peut ainsi localiser chaque défaut et, sur le graphique d'essai obtenu, il est facile de faire à loisir toutes les constatations nécessaires.

L'appareil (*fig.* 1), comporte un dispositif mécanique B entraîné par le moteur M ($\frac{1}{10}$ CV) à vitesse réglable par le rhéostat R. Ce dispositif B

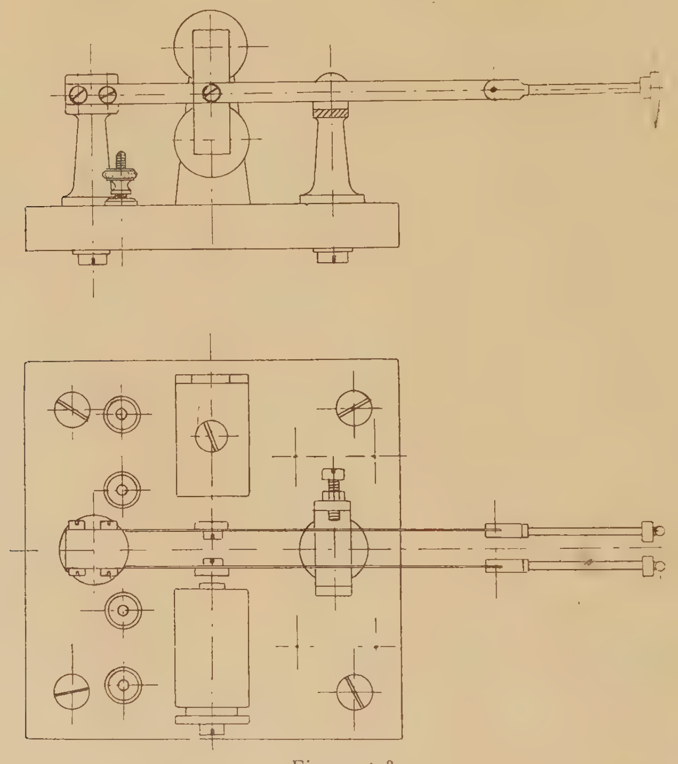


Fig. 2 et 3.

entraîne à la fois le fil à essayer et la bande de papier enregistreur avec des vitesses relatives telles que 10^{m} de fil correspondent à 25^{mm} environ sur le graphique. Le fil à essayer passe dans le bain de mercure H, fait un tour complet autour de la roue C qu'il entraîne sans glissement et se rend au bobinoir B. Une mise à la masse sur celui-ci relie l'âme du fil à l'un des pôles du circuit d'essai. Le bain de mercure H est relié à l'autre pôle à travers un des électro-aimants de l'enregistreur E. La roue C, dont la circonférence mesure exactement 50^{cm}, déclenche tous les 20 tours un contact fermant le circuit de l'autre électro-aimant de l'enregistreur E : la longueur essayée est ainsi repérée tous

les 10^m. Les figures 2 et 3 font nettement comprendre l'ensemble des connexions et le mode de construction de l'appareil enregistreur.

Sur le graphique obtenu (*fig.* 4), il est très facile non seulement de

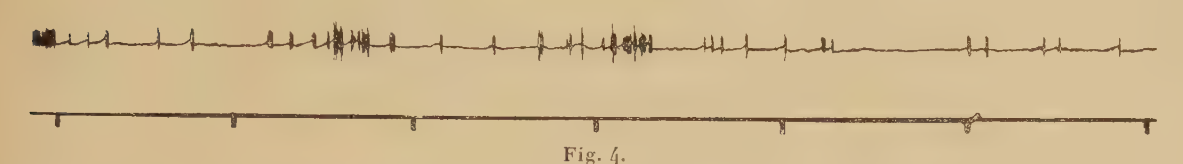


Fig. 4.

compter les défauts, mais de voir comment ils sont répartis : des conclusions très utiles peuvent en être tirées pour l'utilisation et la fabrication du fil émaillé.

Enfin on peut se rendre compte de la fidélité de ce mode d'essai en faisant passer le même fil deux fois dans l'appareil : les diagrammes sont rigoureusement superposables.

Nota. — En utilisant plusieurs bains de mercure successifs avec leurs électros, on peut obtenir une image très exacte des qualités mécaniques de l'émail isolant, en intercalant entre chaque bain un dispositif de fatigue mécanique convenablement choisi.

Ainsi modifié, l'essai constitue une méthode très sûre d'étude et de contrôle pour la fabrication du fil émaillé.

CHIMIE PHYSIQUE. — *L'influence de la trempe sur les propriétés mécaniques des aciers après revenu.* Note de MM. **Léon Guillet** et **Albert Portevin**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

L'étude de la pénétration de la trempe dans les aciers avait conduit l'un de nous à énoncer la règle suivante : « à égalité de dureté finale après revenu, la résilience est meilleure pour les états complètement trempés [1] », c'est-à-dire pour l'état martensitique pur.

Un exemple relatif aux aciers chrome-nickel a déjà été donné [2], mais voici d'autres résultats concernant les aciers au carbone :

---

(1) A. Portevin, *Les phénomènes et lois expérimentales de la trempe des aciers* (*Chimie et Industrie*, t. 2, 1919, p. 1160); *La trempe de l'acier et des alliages métalliques* (*Congrès scientifique de Liége*, juin 1922, p. 298).

(2) L. Guillet, *La trempe et le revenu des produits métallurgiques* (*Rev. gén. Sci.*, t. 31, 1920, p. 620).

	Résilience ρ en kg/cm².	
	Diamètre à l'état trempé 12mm.	Diamètre à l'état trempé 32mm.
Acier à 67kg (C = 0,3; Mn = 0,1) :		
Trempé à 750° et revenu pour $\Delta = 257$....	15,5	8
Trempé à 900° et revenu pour $\Delta = 267$....	14	11
Acier à 55kg (C = 0,2; Mn = 0,7) :		
Trempé à 900° et revenu pour $\Delta = 230$....	9	7,5

Dans ces expériences, les variations de la loi de refroidissement sont obtenues en modifiant le diamètre des barres trempées et en maintenant constant le milieu de trempe (trempe à l'eau). Il était donc intéressant de généraliser ces résultats et pour cela de faire varier la loi de refroidissement, et par suite d'énergie de la trempe, en modifiant uniquement le milieu de trempe à égalité de section des barreaux et en ayant recours aux bains de trempe habituels : eau, huile et air.

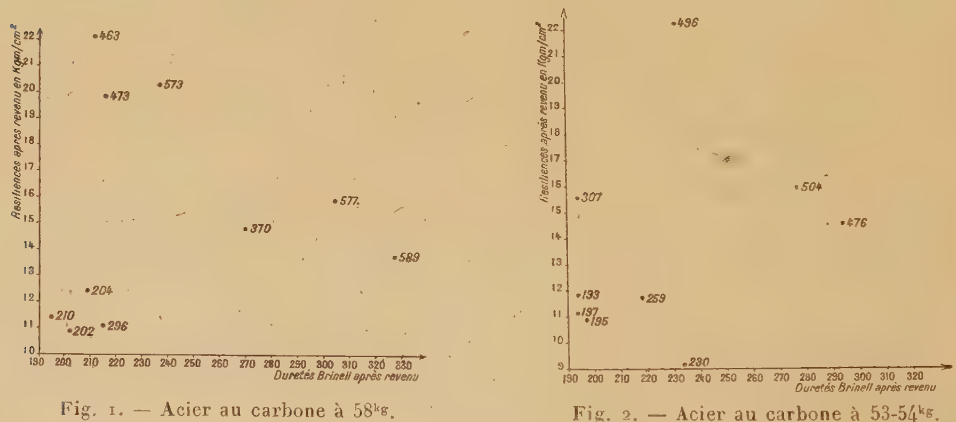


Fig. 1. — Acier au carbone à 58kg.

Fig. 2. — Acier au carbone à 53-54kg.

Dans ce but, nous avons soumis une série d'aciers représentant les plus importants des types industriels d'aciers de construction mécanique (aciers demi-durs, nuances 53 à 65 kg/mm²; aciers nickel-chrome pour cémentation, demi-durs, et auto-trempants, acier inoxydable) à des trempes à l'eau, à l'huile, à l'air et dans l'eau salée saturée bouillante; trempes suivies de revenus dans des bains salins aux trois températures : 500°, 575°, 650°.

Pour chaque traitement nous avons noté :

1° La dureté Brinell Δ et la microstructure après trempe;

2° La dureté Brinell, la résilience ρ et la microstructure après revenu.

Les traitements ont toujours été effectués sur éprouvettes usinées, c'est-à-dire sur échantillons de mêmes dimensions.

I. Pour les aciers nickel-chrome et inoxydables, les variations de dureté après trempe sont de faible amplitude, l'aspect micrographique après trempe est toujours martensitique, de sorte qu'il n'est guère possible de faire de distinctions tranchées entre les divers états trempés. De plus, la comparaison doit être faite à égalité, soit de dureté, soit de résilience après trempe.

II. Pour l'acier demi-dur à 2,8 pour 100 nickel, nuance 65-68 kg/mm², on peut déjà noter les résultats suivants, quoique les variations de dureté après trempe soient encore de faible amplitude :

1° Pour Δ après revenu = 307 — 304 :

$\rho = 12{,}2$ kg/cm² pour Δ après trempe = 499;
$\rho = 9{,}7$ » » » = 425.

2° Pour une même résilience finale après revenu

$\rho = 9{,}7 - 9{,}8$ kg/cm² :
$\Delta = 334$ pour Δ après trempe = 494;
$\Delta = 311$ » » = 466;
$\Delta = 307$ » » = 435.

L'aspect micrographique après trempe est martensitique; pour les échantillons trempés dans l'eau salée, on discerne en outre quelques traces de troostite.

III. Pour les aciers au carbone, nuances 58 kg/mm² et 53-54 kg/mm², l'aspect micrographique après trempe n'est plus le même pour tous les échantillons : ceux trempés à l'eau présentent l'aspect martensitique dans toute la section; dans ceux trempés à l'huile on discerne de la troostite et des traces de ferrite; dans ceux trempés à l'eau salée bouillante, on constate de la ferrite en réseau accompagnée de troostite.

Aussi les duretés après trempe varient dans de larges proportions, dans le rapport de 2 à 5, et les conclusions deviennent très nettes. Il suffit de se reporter aux diagrammes donnés figures 1 et 2 dans lesquels on a porté, en abscisses, les duretés après revenu et, en ordonnées, les résiliences après revenu et sur lesquels on a marqué, pour chaque point figuratif, la dureté après trempe, pour constater que l'association la meilleure de la dureté et de la résilience est obtenue pour les hautes duretés après trempe, alors que de faibles duretés associées à de faibles résiliences sont groupées pour les

basses duretés après trempe, c'est-à-dire pour les états les moins énergiquement trempés comportant de la ferrite et de la troostite.

En résumé, à chaque fois que la nature du métal permet de produire par trempe des constitutions différentes, les résultats des essais mécaniques obéissent à la règle suivante : à égalité de dureté finale après revenu, la résilience est meilleure pour les états complètement trempés, c'est-à-dire formés de martensite pure et, inversement, à égalité de résilience après revenu, la dureté finale est d'autant plus élevée que la dureté de trempe est plus forte.

Ainsi se trouve délimité le choix des états trempés pour un acier donné, lorsqu'on peut réaliser la meilleure association de la dureté et de la résilience finale, ce qui est le but des traitements thermiques pour les aciers de construction.

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Sur quelques sels de cupferron.* Note de M. V. **Auger** et M[lles] **L. Lafontaine** et **Ch. Caspar**, présentée par M. G. Urbain.

Le cupferron s'est montré un réactif très intéressant en analyse quantitative par sa propriété de précipiter bon nombre de métaux en solution acide, ce qui permet d'effectuer certaines séparations qui étaient difficiles par d'autres procédés. Toutefois l'étude systématique des sels de cupferron n'a pas été entreprise jusqu'ici et l'on s'est contenté la plupart du temps de constater la formation des précipités sans indiquer leurs propriétés. Nous désirons combler en partie cette lacune en donnant la description de sels qui n'ont pas été étudiés, et dont plusieurs peuvent intéresser les analystes. Nous nous contenterons de donner ici les formules des sels obtenus et quelques renseignements sur leurs habitus et leur solubilité; pour abréger nous noterons $C = [C^6H^5.N(NO)O]^-$.

Groupe des métaux précipités par SH^2 en solution acide :

Sel d'argent C. Ag : Précipité formé de cristaux rhombes microscopiques, obtenu seulement en solution neutre. Solubilité presque nulle dans tous les solvants neutres. Il se décompose, avant de fondre, vers 130°.

Sel de plomb C^2Pb : Précipité en solution neutre ou faiblement acide; petites aiguilles blanches F. à 147° soluble à 2 pour 100 dans l'alcool.

Sel mercureux C^2Hg^2 : Obtenu en solution acide; petites lamelles insolubles dans tous les solvants neutres, sauf dans l'alcool bouillant. Décomposé vers 215°.

Sel mercurique C^2Hg : Précipite en solution faiblement acide. Il se dissout dans l'alcool, le benzène, le chloroforme, et cristallise en aiguilles blanches. Il se décompose vers 160°.

Sel de bismuth C^3Bi : Obtenu en solution acide; il cristallise en aiguilles aplaties, de sa solution dans le toluène, ou mieux la méthyléthylacétone. Il fond en se décomposant vers 170°.

Sel de cadmium C^2Cd : Précipite en solution neutre ou acétique. Se dissout dans l'alcool ou l'éther à l'ébullition, et cristallise en aiguilles blanches. Il fond en se décomposant vers 245°.

Sel stanneux C^2Sn : Aiguilles blanches F. 138°, solubles dans le benzène et le chloroforme.

Sel stannique C^4Sn : Aiguilles blanches F. vers 180° en se décomposant; très solubles dans le chloroforme.

Sel antimonieux C^3Sb : Ne précipite bien qu'en solution presque neutre, avec un grand excès de cupferron; il forme des aiguilles blanches (alcool) ou de larges tablettes (chloroforme). Ce sel est très soluble dans les solvants neutres, sauf l'alcool; il se décompose vers 112°. On n'a pas pu obtenir de sel antimonique du cupferron.

Sels ou complexes molybdiques. — En précipitant une solution chlorhydrique de MoO^3 par le cupferron on obtient un mélange de deux composés; le premier $C.MoO^3$, soluble dans l'alcool, insoluble dans le benzène, cristallise en petites aiguilles qui se décomposent vers 165°. Le second $C^2.MoO^3$ est obtenu en prismes aplatis très solubles dans le benzène ou le chloroforme. Il fond en se décomposant vers 139°.

Groupe du sulfure d'ammonium :

Sel céreux C^3Ce : Précipité amorphe jaunâtre, obtenu en solution neutre; insoluble dans les solvants organiques. Il rougit à l'air lorsqu'on le laisse en contact avec sa solution et fournit le sel cérique.

Sel cérique C^4Ce : Précipité amorphe, couleur rouille, qu'on obtient avec les sels céreux en solution acide; il se dissout facilement dans les solvants neutres, mais par évaporation du solvant, il reste à l'état amorphe.

Sel de chrome C^3Cr : Précipité vert, brunissant à l'air, obtenu en solution neutre; on ne l'a pas obtenu cristallisé.

Sel d'indium C^3In : Précipité formé d'aiguilles blanches, obtenu en solution acide. Il est très soluble dans l'alcool, le benzène, le chloroforme. Il fond à 90°.

Sel cobaltique C^3Co : Cristaux prismatiques verts, fusibles vers 116° en se décomposant. Ce sel se dépose par oxydation spontanée d'une solution cobalteuse, additionnée de cupferron et acidulée d'acide acétique ou chlorhydrique.

Sel cobalteux C^2Co : Aiguilles roses, solubles dans l'alcool, fusibles vers 162° en se décomposant. On ne l'obtient qu'en solution neutre.

Sel de nickel C^2Ni : Aiguilles vertes (alcool) décomposées vers 200°. Ne précipite qu'en solution neutre.

Sel de zinc C^2Zn : Précipité en solution neutre. Aiguilles (alcool) fusibles à 138°.

Groupe des alcalino-terreux :

Sel de baryum $C^2Ba.3H^2O$: Aiguilles blanches, précipitées en solution neutre. Ce sel est à peu près insoluble à froid dans tous les solvants neutres; il se décompose vers 245°.

Sel de strontium $C^2Sr.2H^2O$: Aiguilles blanches, décomposées vers 290°.

Sel de calcium $C^2Ca.2H^2O$: Aiguilles blanches, décomposées vers 275°.

Ces trois sels sont un peu solubles dans l'eau bouillante.

MINÉRALOGIE. — *Sur la modification du faciès des cristaux par suite de leur syncristallisation avec une matière étrangère dissoute dans l'eau mère.* Note de M. P. GAUBERT.

Par de nombreuses observations, faites surtout à l'aide de matières colorantes, j'ai montré que le faciès des cristaux pouvait être modifié par le passage régulier dans ces derniers de matières étrangères dissoutes dans l'eau mère. Le cristal complexe est constitué de deux manières différentes : il s'agit d'un groupement régulier de cristaux de deux substances, ou bien l'un des corps seul est à l'état cristallin, l'autre se trouvant dans le cristal comme s'il imbibait le réseau (solution solide) [1].

Pour expliquer les modifications du cristal ainsi produites, plusieurs hypothèses peuvent être faites : je veux dans cette Note attirer seulement l'attention sur les suivantes.

1° En s'appuyant sur les expériences anciennes de L. Pasteur [2] qui recouvrait, avec une feuille de papier métallique, certaines faces des cristaux de bimalate d'ammonium, dans le but de modifier la vitesse de cristallisation correspondant aux diverses formes, on pourrait supposer que la matière étrangère, en se déposant régulièrement sur quelques faces seulement, agit comme une couche de vernis, plus ou moins continue, diminuant la vitesse d'accroissement perpendiculairement à ces faces et, il en est quelquefois ainsi. Cette hypothèse pourrait expliquer les modifications du cristal absorbant la matière étrangère par les deux procédés, mais elle est en contradiction avec le fait que, souvent, c'est perpendiculairement aux faces colorées que la vitesse de cristallisation atteint son maximum.

2° Ce dernier fait suggère l'hypothèse de l'action des courants de concentration ou de convection, qui, surtout d'après les expériences de G. Wulff [3] et les miennes, se font sentir par l'allongement ou l'aplatissement des cristaux suivant certaines directions cristallographiques et qui permettent de montrer que l'accroissement du cristal est rythmique [4]. La matière étran-

---

(1) P. GAUBERT, *Bull. de la Soc. fr. de Min.*, t. 38, 1915, p. 149.

(2) L. PASTEUR, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. 49, 1857, p. 5.

(3) G. WULFF, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. 34, 1901, p. 449.

(4) P. GAUBERT, *Bull. de la Soc. fr. de Min.*, t. 25, 1902, p. 230.

gère dissoute, attirée de préférence par certaines faces n'existant pas dans l'eau mère pure, modifierait la direction des courants habituels, et par conséquent la vitesse d'accroissement relative aux diverses formes, ce qui influencerait le développement de ces dernières. Cette action existe certainement, mais elle me paraît être trop faible pour modifier le faciès d'un cristal contenant à peine $\frac{1}{1000}$ de matière étrangère.

3° Il me semble que la modification du faciès, dans le cas de syncristallisation, peut être rattaché au même phénomène que celui de la production des faces octaédriques des cristaux de certains iodures alcalins par une lame de clivage des micas potassiques (1). Un cristal de mica s'accroît, pour ainsi dire, dans une solution d'iodure d'ammonium ou de potassium, au moins par la face de clivage.

Les facettes latérales des cristaux d'iodure sont des faces cubiques, comme l'ont observé G. Wulff (2) et L. Royer (3), mais avec des couches très minces d'eau mère et avec une cristallisation très lente, on obtient aussi des cristaux à contour hexagonal dont trois faces latérales appartiennent au cube et trois à l'octaèdre et il se produit même des octaèdres parfaits. Ces derniers peuvent prendre naissance si la solution contient de l'iodure de sodium sans qu'il soit nécessaire de prendre des précautions particulières, avec cette différence toutefois que ce corps, comme ceux qui provoquent la formation d'octaèdres, semble diminuer la facilité d'orientation (4).

Le fait intéressant, au point de vue auquel je me place ici, est que la face de clivage de mica provoque, à son contact, non seulement la formation de la face octaédrique de l'iodure, mais aussi celle de la face qui lui est parallèle. En se basant sur ce fait, on peut, par analogie, se représenter comment se produit la modification des cristaux par syncristallisation avec une matière étrangère.

En prenant comme exemple le cas des cristaux de nitrate de plomb qui se présentent en cubes dans une solution saturée de bleu de méthylène,

---

(1) P. Gaubert, *Comptes rendus*, t. 178, 1924, p. 856.

(2) G. Wulff, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. 45, 1908, p. 335.

(3) L. Royer, *Comptes rendus*, t. 179, 1924, p. 1610.

(4) G. Kalb (*Cent. f Min.*, 1917, p. 145) admet l'orientation des cristaux octaédriques de chlorure de sodium, déposés sur le mica par une eau mère contenant de la soude. Il me paraît que ces octaèdres, dont la forme n'est due qu'à la présence de cette dernière dans le cristal, ne sont orientés que tout à fait accidentellement et même presque toujours l'orientation n'est qu'approchée. Il en est de même des cristaux déposés, dans les mêmes conditions, par une eau mère contenant de l'urée.

alors qu'ils sont en octaèdres dans une eau mère pure [1], voici ce qui se passe. Les molécules de bleu de méthylène attirées et orientées, comme l'indique leur polychroïsme, par les sommets de l'octaèdre ou par les facettes extrêmement réduites du cube (je suppose qu'il s'agit de cristaux d'abord formés dans une eau mère non saturée de bleu), constituent une couche très mince parallèle aux faces du cube, formée de lamelles plus ou moins isolées ayant la même orientation. Cette couche exerce une influence analogue sur le nitrate de plomb qui forme un dépôt parallèle aux faces du cube. Ce dernier agit à son tour sur le bleu de méthylène et ainsi de suite. L'accroissement rythmique des cristaux favorise ce mode de groupement. L'attraction mutuelle des deux substances est cependant moins forte que celle du nitrate de plomb pour ses propres molécules, aussi la vitesse de cristallisation perpendiculairement aux faces du cube est plus faible que celle correspondant aux faces octaédriques, qui finissent par disparaître, et le cristal est finalement limité par les faces du cube seulement. La production de cubes dans une solution de bleu de méthylène s'explique aussi par le fait de l'orientation sur les cristaux de cette substance, de ceux du nitrate de plomb dès leur apparition. Tous les autres cas de modification du faciès par syncristallisation peuvent être interprétés de la même manière. Il est à remarquer que le faciès n'est pas modifié par les substances isomorphes, qui, en général, ont des formes identiques dans les mêmes conditions de cristallisation.

MINÉRALOGIE. — *Naissance de biotite dans des granites et des rhyolites broyés du Morvan.* Note de M. **Albert Michel-Lévy**, présentée par M. Émile Haug.

La région montagneuse comprise entre Château-Chinon, le bassin d'Autun, Montsauche et Saint-Brisson présente de larges zones alternativement formées de rhyolites et de granites et orientées du S.W. au N.E. La consolidation de ces roches date du Dinantien. Elles ont été prises dans les derniers plissements hercyniens.

J'ai souvent rencontré, parmi elles, des parties broyées, dans lesquelles, par places, le degré d'écrasement mécanique et de concassage des éléments constituants est tel qu'elles mériteraient alors véritablement le nom de

(1). P. Gaubert, *Bull. de la Soc. fr. de Min.*, t. 23, 1900, p. 210.

mylonites, n'était leur faible importance par rapport aux parties non broyées. Bien qu'il ne soit pas possible d'en suivre les affleurements avec quelque continuité, sur le terrain, elles paraissent cependant résulter d'accidents horizontaux, contemporains de la formation de la chaîne hercynienne.

Quelques-unes de ces parties broyées de rhyolites et de granites se sont montrées enrichies en fines lamelles d'une biotite, noire à l'œil nu, peu colorée en brun clair, en plaque mince, dans des conditions qui méritent d'être signalées (granites broyés et micacés entre Montsauche et Gouloux — à la Croix-Loiseux, S. de Château-Chinon — entre le Châtelet et Pont Charrot; rhyolites broyées et micacées à la carrière des Blandins).

Dans les parties simplement broyées, on ne retrouve que des débris de la roche originelle ou de ses éléments : *feldspaths* (orthose, albite, oligoclase), *quartz*, en éclats plus ou moins grands, disloqués et tordus, *biotite* en grandes lamelles froissées et chloritisées, accompagnées de zircon et d'apatite. Parfois, ces éléments ont été broyés en une mouture si fine qu'ils ne sont plus reconnaissables.

Cet ensemble est généralement envahi par des minéraux secondaires finement cristallisés (séricite, épidote, calcite), d'autant plus abondants que le broyage est plus prononcé. A l'œil nu, les parties les plus finement broyées prennent l'apparence de quartzites et une teinte d'un vert assez pâle.

D'autres parties broyées m'étaient apparues sur le terrain avec l'aspect de cornes micacées gris foncé et rappelant les roches métamorphisées au contact du granite. Au microscope, ces roches se sont révélées comme étant constituées par des granites et des rhyolites finement broyés, envahis par de *très fines et très nombreuses lamelles de biotite*, formées postérieurement au broyage. Tantôt ces lamelles ont rempli les fissures séparatives des éléments broyés, tantôt elles se sont accumulées sur les squelettes des anciennes lamelles primaires de biotite. Dans les parties très finement écrasées, elles se sont répandues un peu partout au sein de la roche.

Dans la rhyolite des Blandins, des fissures, larges de quelques millimètres, ont été remplies par des lamelles plus développées de cette même biotite, en groupements palmés, perpendiculaires aux parois.

Son polychroïsme est faible, avec les teintes brun pâle suivant n_g, blanc jaunâtre suivant n_m, blanc suivant n_p. L'angle des axes optiques est très réduit. Quelques fissures, d'abord garnies de cette biotite, ont été remplies au centre par de la magnétite déposée postérieurement.

Un tel envahissement par la biotite des granites et des rhyolites broyés rappelle les remplissages des cavités et des enclaves de certaines roches volcaniques par une biotite blonde, d'*origine pneumatolytique*, signalés par M. A. Lacroix dans le massif du Mont Dore.

C'est à l'action de gaz et vapeurs de fumerolles provenant d'un magma granitique, voisin en profondeur, que nous l'attribuons; phénomène comparable à celui qui a donné naissance à certains minéraux des roches métamorphisées au contact des granites, avec cette différence que la distance au granite en fusion était, dans le cas qui nous occupe, plus considérable.

Il nous paraît, en tout cas, bien établi que ces granites et ces rhyolites écrasés et micacés sont des témoins de broyages hercyniens profonds, pénétrés aussitôt par les gaz et vapeurs de fumerolles d'un magma granitique sous-jacent.

MAGNÉTISME TERRESTRE. — *Mesures magnétiques en Normandie et en Bretagne*. Note de M. E. **Tabesse**, présentée par M. Daniel Berthelot.

Nous avons continué au cours du printemps et de l'été 1924 les mesures magnétiques entreprises en vue de l'établissement du nouveau réseau magnétique de la France. Le nombre des stations visitées dans les deux départements du Calvados et de la Manche est de 40, dont 4 l'ont été deux fois; 18 d'entre elles appartiennent au réseau de Moureaux, les autres sont nouvelles. Chaque mesure a été faite en double dans toutes les stations sauf deux (Courseulles et Grand-Camp).

Le tableau suivant donne les valeurs des éléments magnétiques rapportées au 1er janvier 1922. Les noms des stations nouvelles sont en italiques.

	D.	I.	H.	Situation magnétique.
Calvados :				
	° ′	° ′		
Amayé-sur-Orne	13.31,2	»	0,19484	calme
Bayeux	13.40,5	65.11,7	0,19395	calme
Bény-Bocage	13.46,2	65. 0,3	0,19502	calme
Cabourg	13.18,3	65.15,5	0,19401	presque calme
Caen	13.30,9	65. 8,4	0,19434	presque calme
Caumont	13.54,2	65. 9,9	0,19434	calme
Condé-sur-Noireau I	13.34,4	64.51,3	0,19563	calme
» *II*	13.36,3	64.50,8	0,19559	calme
Courseulles	13.37,4	65.15,6	0,19347	presque calme

	D.	I.	H.	Situation magnétique.
	° ′	° ′		
Evrécy	13.29,9	65. 4,1	0,19463	calme
Falaise	13.26,5	64.53,6	0,19552	calme
Grand-Camp-les-Bains	13.49,4	65.27,0	0,19293	presque calme
Lisieux	13. 2,8	65. 0,4	0,19473	calme
Livarot	13. 9,1	64.58,1	0,19541	presque calme
Mézidon	13.20,3	65. 2,2	0,19484	presque calme
Orbec	13. 0,7	64.59,0	0,19536	calme
Pont-l'Évêque	13.13,5	65.13,2	0,19421	un peu agitée
Sainte-Honorine-du-Fay	13.31,8	65. 5,4	0,19483	calme
Thury-Harcourt	13.27,2	65. 2,7	0,19494	calme
Tilly-sur-Seulles	13.38,2	65.13,7	0,19444	calme
Trouville-Deauville	13. 8,7	65. 9,7	0,19432	presque calme
Vire	13.44,6	64.58,8	0,19556	presque calme
Manche :				
Avranches	13.54,0	64.54,3	0,19604	calme
Barfleur I	»	65.33,2	0,19162	presque calme
» II	13.59,4	»	0,19176	calme
Bretteville	14. 2,4	65.33,9	0,19126	calme
Carentan I	14. 0,4	64.44,6	0,19361	un peu agitée
» *II*	13.55,5	65.21,2	0,19326	presque calme
Chausey (Iles)	14.17,4	65. 7,5	0,19479	calme
Cherbourg	14.11,9	65.34,8	0,19150	calme
Coutances	14. 1,8	65. 6,3	0,19449	calme
Granville	14. 2,6	65. 4,4	0,19495	calme
La Hague I	14.17,9	65.38,5	0,19112	calme
» II	14.15,6	»	0,19105	calme
» III	14.29,6	65.37,5	»	calme
La Haye-du-Puits	14. 9,3	65.27,0	0,19260	calme
Les Pieux	14.21,4	65.41,9	0,19118	calme
Mont-Saint-Michel	13.57,2	64.53,8	0,19617	calme
Mortain	13.43,9	64.47,7	0,19552	agitée
Pontorson	13.50,9	64.50,9	0,19670	calme
Saint-Lô	13.52,9	65. 8,4	0,19400	calme
Sainte-Marie-du-Mont	14. 2,5	65.24,8	0,19276	calme
Torigny-sur-Vire	13.53,0	65. 5,6	0,19488	calme
Valognes	14. 4,2	65.28,4	0,19199	calme
Villedieu-les-Poëles	13.50,9	64.58,6	0,19568	un peu agitée
Loire-Inférieure :				
Châteaubriant	13.37,2	64. 5,2	0,20043	presque calme
Le Croisic	14.14,7	63.50,2	0,20163	calme

La comparaison de ces mesures avec celles de Moureaux, qui sont rapportées au 1er janvier 1896, donne les variations séculaires des éléments magnétiques pour la période 1896-1922. En éliminant les résultats obtenus à La Hague, par suite de la forte anomalie qui y a été constatée, et à Châteaubriant qui se rattache à la région bretonne, les variations ont comme valeurs moyennes :

Déclinaison : — 2°57′ (valeurs extrêmes : — 3°1′ et — 2°51′)
Inclinaison : — 0°35′ (valeurs extrêmes : — 0°39′ et — 0°30′)
Composante horizontale : + 0,0020 (valeurs extrêmes : + 0,0027 et + 0,0015)

Ces valeurs sont intermédiaires entre celles qui ont été obtenues, d'une part, dans le bassin de Paris par M. Eblé et, d'autre part, en Bretagne par M. Maurain et nous-même; mais il semble bien que les différences dans l'allure des variations se produisent assez rapidement quand on passe de la Bretagne à la Normandie.

L'ensemble des mesures paraît révéler une anomalie magnétique assez accentuée dans le nord du Cotentin et une autre moins importante dans la région située au sud de Caen. En particulier, à La Hague, la valeur probable de D, déduite des mesures de Moureaux, aurait été au 1er janvier 1922 : 14°41′; nous y avons obtenu en trois points différents : 14°18′, 14°16′ et 14°30′; signalons encore une forte anomalie de I à Carentan où nous avons obtenu en deux points distants de 1km des valeurs différant de 26′. Les mesures faites à la station de Sainte-Marie-du-Mont, peu éloignée de la précédente, donnent pour les variations séculaires de H et I les plus grands écarts à la moyenne.

Notons enfin que les mesures effectuées à Châteaubriant n'ont pas confirmé l'anomalie semblant résulter de celles que nous y avions faites en 1923; celles-ci ont dû être troublées par une cause accidentelle comme nous l'avions supposé.

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Extraction et propriétés de la géïne, glucoside générateur d'eugénol, contenu dans le* Geum urbanum *L.* Note de MM. **H. Hérissey** et **J. Cheymol**, présentée par M. Guignard.

En 1905, l'un de nous [1], en collaboration avec Bourquelot, a montré que l'essence retirée par distillation des parties souterraines de Benoîte

[1] *Comptes rendus*, t. 140, 1905, p. 870; *Journ. de Pharm. et de Chim.*, 6e série, t. 21, 1905, p. 481.

contient surtout de l'eugénol, qui a été caractérisé à l'état de benzoyleugénol; en outre, il a été prouvé que cet eugénol ne préexiste pas, au moins en totalité, dans la plante fraîche, mais provient du dédoublement fermentaire d'un glucoside contenu dans cette dernière. Ce glucoside, auquel a été donné le nom de géïne n'avait pu être extrait en quantité et à un état de pureté suffisants pour qu'il ait été possible alors d'en indiquer avec précision la nature et les propriétés. Dans le présent travail, dont nous ne pouvons résumer ici que les résultats essentiels et qui paraîtra en détail dans un autre recueil, nous avons réussi à obtenir la géïne en quantité encore assez faible, mais néanmoins largement suffisante pour pouvoir fixer son individualité chimique et exposer un certain nombre de ses propriétés caractéristiques.

Extraction de la géïne. — On prépare tout d'abord un extrait aqueux en traitant par l'eau *bouillante* les parties souterraines *fraîches* de Benoîte; cet extrait repris par l'alcool fournit un extrait alcoolique qu'on épuise par l'acétone légèrement hydratée; le résidu obtenu par évaporation des liqueurs acétoniques est traité dans des conditions convenables par l'éther acétique, dans lequel la géïne cristallise après amorçage. En utilisant une matière première récoltée à la mi-septembre, on a obtenu un rendement d'environ 1 pour 1000 en géïne brute. Celle-ci est purifiée par recristallisation dans l'éther acétique *hydraté;* il est assez difficile de la débarrasser complètement de traces d'un produit insoluble dans l'eau, qui l'accompagne au cours de son extraction.

Propriétés de la géïne. — La géïne se présente en fines aiguilles incolores, très légères, souvent groupées en sphéro-cristaux, combustibles sans résidu. Elle a perdu, à l'étuve à eau bouillante, 3,60 pour 100 de son poids. Elle est incolore et inodore; sa saveur est à peu près nulle. Son point de fusion instantané au bloc est de $+146$ à 147°. Elle est assez peu soluble dans l'eau froide et dans l'alcool à 95°, très peu soluble dans l'éther acétique froid, insoluble dans l'éther.

Elle est lévogyre, sans polyrotation. La détermination du pouvoir rotatoire effectuée, en solution aqueuse, sur deux produits provenant de cristallisations différentes a donné :

I. $[\alpha]_D = -52^\circ,99$ ($v = 50^{cm^3}$, $l = 2$, $p = 0^g,3147$, $\alpha = -40'$).
II. $[\alpha]_D = -54^\circ,37$ ($v = 50^{cm^3}$, $l = 2$, $p = 0^g,3062$, $\alpha = -40'$).

La géïne n'est pas azotée.

Hydrolyse par les acides. — La géïne, en solution aqueuse, ne réduit pas les liqueurs cupro-potassiques; elle est facilement hydrolysée par les acides minéraux étendus et bouillants, comme l'acide sulfurique à 2 pour 100, avec mise en liberté de matières réductrices.

I. Une solution renfermant, pour 100^{cm^3}, $0^g,5035$ de glucoside contenait, après hydrolyse, $0^g,3508$ de sucre réducteur, exprimé en glucose, soit 69,67 pour 100 du produit initial. La rotation était devenue $+32'$ ($l = 2$).

II. Une solution de géïne, à $0^g,4899$ pour 100^{cm^3}, contenait, après hydrolyse, $0^g,3375$ de sucre réducteur, soit 68,89 pour 100 de géïne et avait également une rotation de $+32'$.

Les liqueurs d'hydrolyse exhalent une forte odeur d'*eugénol*; celui-ci a été caractérisé à l'état de déhydrodieugénol, corps préparé antérieusement par H. Cousin et H. Hérissey ([1]).

Les valeurs trouvées indiquent qu'il doit y avoir, au cours de l'hydrolyse, mise en liberté de plus d'une molécule de sucre simple; elles concordent très bien avec celles que donnerait un mélange à molécules égales de glucose *d* et d'arabinose *l*; en accord, avec cette hypothèse, les liqueurs d'hydrolyse fournissent, avec l'orcine et l'acide chlorhydrique, la réaction des pentoses.

Dédoublement fermentaire de la géïne par la géase. — Une solution de géïne à $0^g,6294$ pour 100^{cm^3}, contenait, après action de la géase, $0^g,2449$ de sucre réducteur, exprimé en glucose, et avait une rotation de $+18'$. Elle contenait de l'eugénol.

Toutes les observations qui précèdent sont en parfait accord avec l'hypothèse qui envisagerait la géïne comme formée de 1^{mol} d'eugénol, 1^{mol} de glucose *d* et 1^{mol} d'arabinose *l*, avec élimination de 2^{mol} d'eau; le glucoside, en outre, cristalliserait avec 1^{mol} d'eau. La géase ne conduirait le dédoublement que jusqu'à un terme intermédiaire, qui serait un sucre constitué par l'union de 1^{mol} de glucose *d* et de 1^{mol} d'arabinose *l*, avec élimination de 1^{mol} d'eau; on connaît déjà un tel sucre, c'est le vicianose isolé par G. Bertrand et G. Weisweiller ([2]) des produits d'hydrolyse fermentaire de la vicianine. On ne peut, à ce point de vue, s'empêcher de remarquer que si nous calculons, d'après les données publiées sur le vicianose, la quantité de ce dernier sucre hypothétiquement formée dans le dédoublement fermentaire de la géïne, en considérant le pouvoir réducteur de la liqueur d'hydrolyse, nous trouvons un rendement en vicianose de 66,02 pour 100, alors que, dans l'hypothèse formulée plus haut relativement à la constitution de la géïne, le calcul aboutit à la valeur de 65,54.

Il est bien évident que la constitution de la géïne ne pourra être établie avec certitude que par des recherches ultérieures et, en particulier, par l'obtention à l'état pur des sucres résultant de l'hydrolyse du glucoside soit par les acides, soit par la géase; c'est la tâche que nous aborderons aussitôt que nous aurons préparé la quantité de matière première nécessaire pour en poursuivre l'accomplissement.

([1]) *Comptes rendus*, t. **146**, 1908, p. 1413; *Journ. de Pharm. et de Chim.*, 6e série, t. **28**, 1908, p. 49.

([2]) *Comptes rendus*, t. **151**, 1910, p. 325, 884; *Bull. Soc. chim.*, 4e série t. **9**, 1911, p. 38.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur le processus du noircissement des Orobanches au cours de leur dessiccation.* Note de MM. M. Bridel et C. Charaux, présentée par M. L. Guignard.

On sait qu'un certain nombre de végétaux ont la propriété de noircir au cours de leur dessiccation et que le processus de ce noircissement plus ou moins accentué n'est pas le même pour toutes les plantes.

Le noircissement peut être produit par l'action d'un ferment oxydant sur un principe de nature phénolique facilement oxydable : telles sont l'action de la laccase sur le laccol, celle de la tyrosinase sur la tyrosine. Il peut encore provenir de l'action de l'émulsine sur un glucoside qui donne un composé devenant noir par polymérisation, par oxydation ou par un processus encore indéterminé. Citons comme rentrant dans ces catégories les plantes qui renferment de l'aucuboside (aucubine), de l'arbutoside (arbutine), du monotropéoside [1] (monotropéine). Ce dernier glucoside existe dans le *Monotropa Hypopitys* L., plante dépourvue de chlorophylle et non parasite.

D'autres plantes, également dépourvues de chlorophylle, mais parasites, les Orobanches, possèdent la propriété de noircir pendant la dessiccation. A la vérité, leur noircissement est bien moins accentué que celui du *Monotropa Hypopitys* L., de l'Aucuba ou des Mélampyres, par exemple. Leur végétation terminée, les Orobanches passent du blanc jaunâtre au brun grisâtre, mais le noircissement est néanmoins très net.

Nous avons recherché l'aucuboside dans cinq espèces différentes : *Orobanche amethystea* Thuill. (plante entière); *O. cruenta* Bert. (plante entière); *O. Epithymum* DC (bulbe); *O. minor* Sutt. (bulbe et parties aériennes); *O. Picridis* Schultz (bulbe et parties aériennes), par la méthode à l'invertine et à l'émulsine. Nous n'avons trouvé dans aucune d'elles ni aucuboside, ni aucun autre glucoside dédoublable par l'émulsine.

Les bulbes de l'*Orobanche Rapum* Thuill. nous ont fourni, à l'état pur et cristallisé, un glucoside spécial, l'*orobanchine* [2] que nous désignerons dorénavant sous le nom *orobanchoside*. Ce glucoside donne à l'hydrolyse de l'acide caféique, du glucose et du rhamnose; ces principes ont été obtenus

---

(1) Voir, au sujet de ces noms, *Bull. Soc. Chim. biol.*, t. 6, 1924, p. 905.

(2) *L'orobanchine, glucoside nouveau, retiré des tubercules frais de l'*Orobanche Rapum *Thuill.* (*Comptes rendus*, t. 178, 1924, p. 1839).

à l'état cristallisé. Il n'est hydrolysé ni par l'émulsine, ni par le ferment des graines de *Rhamnus*. Le suc glycériné de *Russula delica* provoque l'oxydation de l'orobanchoside en solution : il y a formation d'un précipité amorphe qui prend peu à peu une teinte brune, mais il n'y a pas hydrolyse.

Nous avons pensé que la teinte brun grisâtre que prennent les Orobanches pendant la dessiccation était due à l'action d'un ferment oxydant sur l'orobanchoside. Les Orobanches renferment en effet un ferment oxydant très actif. La section du bulbe est jaune clair et se colore très rapidement en brun, au contact de l'air. La teinture de gaïac diluée dans l'eau se colore immédiatement en bleu intense au contact de cette section.

Nous avons fait agir une poudre fermentaire obtenue avec l'*Orobanche amethystea* Thuill., sur une solution aqueuse d'orobanchoside à 1 pour 50. La solution jaune clair s'est troublée, puis elle a pris une teinte brun foncé. En 24 heures, la rotation de la solution avait passé de $-2°48'$ à $-2°$ ($l = 2$). La coloration de la solution était ensuite trop intense pour permettre un nouvel examen au polarimètre.

Au bout de 7 jours, la solution a été déféquée à l'extrait de Saturne et filtrée. La liqueur filtrée, incolore, était inactive sur la lumière polarisée et ne renfermait pas de sucre réducteur. Il n'y avait donc pas eu hydrolyse de l'orobanchoside, mais seulement précipitation par oxydation.

En résumé, c'est à l'orobanchoside, glucoside particulier des Orobanches, qu'il faut attribuer le noircissement de ces plantes pendant la dessiccation par le processus suivant : le ferment oxydant dont nous avons démontré la présence dans les Orobanches, agit sur l'orobanchoside en donnant une matière colorante brune, insoluble dans l'eau, produit d'oxydation de nature indéterminée, mais renfermant tous les composants du glucoside générateur.

Ce processus de noircissement par oxydation directe d'un glucoside, sans hydrolyse, est différent de celui qui a été signalé, par exemple, pour les Mélampyres, le *Monotropa Hypopitys* L. ou les feuilles de Poiriers, dans lequel le glucoside de ces plantes est d'abord hydrolysé et fournit ainsi un produit de dédoublement qui se colore soit par polymérisation, soit par oxydation.

BIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Observations nouvelles sur la Xénie chez le Blé.* Note de M. L. BLARINGHEM, présentée par M. L. Guignard.

L'explication physiologique de la déformation des ovaires et des fruits par l'action de pollens illégitimes a été donnée par L. Guignard en 1899; l'intérêt pratique de ces phénomènes de Xénie est mis en valeur par le seul fait qu'ils guidèrent Mendel (1865), puis Hugode Vries (1900), dans la découverte des règles numériques de la disjonction des hybrides de variétés. Les cas de Xénie que j'ai observés chez le Blé sont relatifs à des hybrides entre espèces [*Triticum monococcum* × *durum* (Blaringhem, 1910), *Tr. monococcum* × *polonicum* et *Tr. turgidum* × *vulgare* (1913)] et même à des hybrides entre genres différents [*Triticum* × *Secale* (1922), *Ægilops* et *Triticum* (1923)]. Les nombreuses fécondations illégitimes entre espèces divergentes de Blés réalisées en 1924 (¹) complètent heureusement cette série; elles fournissent de plus des indications précieuses sur les hybridations interspécifiques en général.

Les pollinisations illégitimes ont été faites sur des épis à rachis intact, portant le plus grand nombre possible (20 à 30) de fleurs castrées, avec les anthères mûres d'un même épi; cette technique, que j'ai signalée déjà (1913), simplifie les généalogies; elle a surtout l'avantage de prolonger la vitalité des épis et de favoriser la formation des *grains hybrides*. Ceux-ci en effet *se forment d'autant mieux et sont d'autant plus lourds qu'ils sont plus nombreux sur le même épi.*

Ainsi un épi *Triticum Cienfuegos* portant 30 fleurs castrées, pollinisé par *Tr. monodurum*, a fourni 25 grains hybrides de même taille et presqne aussi lourds ($45^{mg},2$) que les grains de *Cienfuegos* autofécondés ($53^{mg},1$). La combinaison *Tr. monodurum* × *dicoccoides* réalisée avec trois couples d'épis différents a donné respectivement 18, 19 et 19 grains pesant en moyenne $51^{mg},1$, $51^{mg},5$ et $57^{mg},4$; la combinaison *Tr. turgidum* B × *vulgare* D réalisée deux fois a donné 12 et 14 grains pesant en moyenne 57^{mg} et 64^{mg}. Ces faits, que je pourrais multiplier puisque, sur 40 opérations réussies, 28 ont fourni des épis portant de 10 à 15 grains hybrides bien constitués, mettent en valeur une règle fréquemment vérifiée chez les Céréales cultivées, surtout chez l'Avoine, d'après laquelle la fécondation d'un nombre élevé de fleurs entraîne, pour une sorte donnée, l'augmentation du poids moyen des grains de l'épi ou de la grappe.

1° En raison des nombreux grains hybrides formés sur le même épi, j'ai pu vérifier l'identité de forme, de taille et de poids des hybrides, ou mieux,

(¹) L. BLARINGHEM, *Production de nouveaux hybrides de Blés...* (*Comptes rendus*, t. **180**, 1925, p. 218).

puisque l'enveloppe du caryopse et l'embryon sont réduits, des albumens. *La règle de l'uniformité des caractères des hybrides de première génération est strictement applicable aux albumens*, qui sont des embryons mort-nés.

2° Contrairement à ce qui a lieu pour les croisements entre variétés d'une même espèce, *les fécondations illégitimes entre espèces différentes et leurs combinaisons réciproques ne donnent pas*, d'ordinaire, *des albumens hybrides identiques.*

Ainsi, j'ai obtenu trois combinaisons, *Tr. vulgare* D × *turgidum* B avec 11, 13 et 13 grains pesant respectivement 20, 15,6 et 29^{mg},4, alors que deux combinaisons *turgidum* B × *vulgare* D ont donné 12 et 14 grains pesant en moyenne plus du double, 57 et 64^{mg}. Les quatre combinaisons *Tr. dicoccoides* × *monodurum* donnèrent 8, 8, 13 et 14 grains avec poids moyens 35,7, 38,9, 32,3 et 39^{mg},8, alors que les réciproques *monodurum* × *dicoccoides* fournissent 18, 19 et 19 grains à poids moyens 51,1, 51,5 et 57^{mg},4; *Tr. vulgare* × *monodurum* réalisé deux fois avec 5 et 5 grains pesant 23 et 27^{mg} s'oppose de même à *monodurum* × *vulgare* avec 14 grains pesant en moyenne 46^{mg}.

D'ailleurs, à ces poids divergents correspondent des différences d'aspect et de forme qui trahissent des constitutions d'albumen totalement indépendantes : *Tr. turgidum* × *vulgare* donne des grains énormes (5 grains mesurant bout à bout 44^{mm} de long, côte à côte 25^{mm} de large et 24^{mm} d'épaisseur), alors que *Tr. vulgare* × *turgidum* donne pour les mêmes mensurations 36, 13 et 12^{mm}; de même *Tr. monodorum* × *vulgare* donne 42, 20 et 18^{mm}, alors que *Tr. vulgare* × *monodurum* donne 28, 14 et 13^{mm} pour 5 grains.

3° En classant les hybrides réalisés d'après les espèces maternelles, j'ai réussi à mettre en évidence les caractéristiques que certaines d'entre elles fournissent à leurs albumens illégitimes.

Les ovaires *Tr. vulgare* pollinisés par les espèces divergentes *Cienfuegos*, *dicoccoides*, *monodurum*, *turgidum*, donnent des grains légers (16 à 29^{mg}), petits, ridés à la surface, à plateau stigmatifère étalé à angle droit sur l'axe du grain; les ovaires de *Tr. Spelta* se comportent de même avec les pollens de *Tr. turgidum* (29^{mg}). Au contraire, la combinaison de *Tr. vulgare* × *Spelta* donne des grains plus lourds (64^{mg}) que ceux des parents, remarquables par la parfaite constitution de leurs albumens.

Toujours, dans mes épreuves, les ovaires *turgidum* B produisent, avec des pollens *vulgare*, des grains énormes, boursouflés, puis ridés, comme si l'albumen était partiellement digéré avant la dessiccation; les albumens *turgidum* × *monodurum* sont mieux constitués et très lourds; les ovaires *monodurum* donnent des grains pleins avec *vulgare* (46^{mg}), surtout avec *abyssinicum* (58^{mg}) et même avec *dicoccoides*.

Les ovaires *dicoccoides* impriment à leurs hybrides la forme allongée et étroite; leur pollinisation par *Tr. vulgare* B m'a donné des grains presque filiformes.

Enfin *Tr. monococcum* donne dans tous les cas les grains les plus petits; pollinisé

avec *monodurum*, 5 grains ont 28, 8 et 11mm, avec *Cienfuegos* 31, 10 et 14mm, avec *turgidum* 32, 11, 14mm; la croissance est lente et les grains desséchés offrent des caractères infantiles, transitoires chez les autres Blés. Jusqu'ici les ovaires de cette espèce sont restés réfractaires à l'activité des pollens de *vulgare*.

En résumé, le poids, la forme et la taille des albumens hybrides entre espèces de *Triticum* trahissent les affinités ou les divergences des espèces croisées; leur connaissance peut être utile pour la recherche des parentés et par suite pour l'étude de l'origine des qualités de la série complexe des Froments. Les déformations caractéristiques des ovaires par certains pollens font soupçonner les péripéties d'une lutte entre la mère et l'embryon illégitime ou, tout au moins, des déséquilibres suffisants pour expliquer la mortalité prématurée de certaines combinaisons. Les hybrides d'espèces de *Primula* et de *Dianthus* présentent des phénomènes du même ordre, moins accentués.

BIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur les relations biologiques entre une Hépatique* (Lophocolea bibentata *Nees.*) *et diverses Muscinées*. Note (1) de M. **Ad. Davy de Virville**, présentée par M. Molliard.

Le *Lophocolea bidentata* Nees. est une Hépatique à feuilles qui se développe soit isolément, soit au milieu des touffes de diverses espèces de Muscinées dont elle enlace plus ou moins étroitement les tiges. Je l'ai trouvée ainsi fréquemment associée à de nombreuses Mousses : *Hypnum purum* L. et *Schreberi* Wild., *Thyidium tamariscinum* B. E., *Anomodon viticulosus* H. et T., *Dicranum scoparium* Hedw., *Polytrichum formosum* Hedw., *Mnium undulatum* Neck., ou même à d'autres Hépatiques : *Plagiochila asplenioides* Dum. Dans ce cas, si l'on détache avec soin la tige du *Lophocolea* et si on l'observe au microscope, on peut voir qu'au niveau des amphigastres se sont développés de nombreux rhizoïdes plus ou moins allongés. Leur extrémité, au lieu d'être lisse et de se terminer normalement en doigt de gant, est ici, au contraire, digitée, renflée en ampoule, irrégulièrement ramifiée et contournée, si bien qu'on a l'impression d'observer de véritables crampons-suçoirs. La même chose se produit au contact des brins de bois ou des feuilles mortes.

Cet épatement et ce renflement des rhizoïdes des Mousses au contact des

(1) Séance du 26 janvier 1925.

corps humides est d'ailleurs connu, mais il est moins accentué et s'opère d'une manière différente.

Si, pour mieux étudier les rapports de la Mousse et de l'Hépatique, on pratique une coupe à l'endroit où les deux végétaux s'unissent l'un à l'autre, on constate que les bifurcations des rhizoïdes de l'Hépatique ne pénètrent pas dans les cellules des feuilles de la Mousse, mais qu'elles s'appliquent exactement contre la cuticule et qu'elles en moulent parfaitement toutes les aspérités. Les rhizoïdes ne se fixent donc pas aux tiges des Mousses comme un examen superficiel pourrait le faire croire, mais bien aux feuilles qui, dans la plupart des espèces, sont appliquées contre la tige qu'elles entourent comme un manchon protecteur. Du reste on peut très bien détacher des feuilles de Mousses portant encore des rhizoïdes. Cet examen est même très instructif, car on peut voir que ceux-ci se ramifient toujours en superposition exacte avec les membranes des cellules du limbe et qu'ils en suivent fidèlement tous les contours. Par contre, je n'ai pas remarqué de modifications importantes dans la forme ou le contenu des cellules de la Mousse au point de contact.

Quelle interprétation doit-on donner de ces faits? D'abord il est hors de doute que ces rhizoïdes ont un rôle de crampon, ce qui permet à l'Hépatique de s'élever au milieu des Mousses qu'elle enlace à la manière des plantes grimpantes chez les Phanérogames. On a ici un nouvel exemple de cette sensibilité au contact analogue à celle que M. Chemin vient de décrire chez les Algues (¹). Mais, et c'est là un problème biologique beaucoup plus intéressant et plus délicat à résoudre, y a-t-il simplement contact entre le rhizoïde de l'Hépatique et le tissu cellulaire de la feuille de la Mousse; ou bien les liquides nutritifs peuvent-ils passer par osmose d'un organisme à l'autre.

A priori, il semble qu'on puisse répondre par l'affirmative : car si les rhizoïdes ont un rôle de fixation ils ont aussi un rôle de nutrition. D'ailleurs leur forme extérieure, je l'ai dit, donne l'impression d'un suçoir tout autant que d'un crampon. Néanmoins j'ai voulu mettre en évidence le passage possible de substances de la Mousse à l'Hépatique par la double série d'expériences suivantes.

D'abord on sait depuis longtemps que les feuilles de Mousses peuvent retenir la vapeur d'eau atmosphérique. Mes expériences sur des tiges feuillées

---

(¹) E. Chemin, *La sensibilité au contact chez les Algues* (*Revue algologique*, t. 1, 1924, p. 213-222 et 5 fig.).

d'*Anomodon viticulosus* desséchées dans les conditions naturelles, puis placées en atmosphère saturée et ayant repris leur turgescence normale confirment pleinement cette opinion. Pourtant la cuticule de cette mousse est assez épaisse : néanmoins elle n'est pas imperméable.

De plus, j'ai placé des tiges d'*Anomodon viticulosus* et de *Thyidium tamariscinum* auxquelles étaient fixées des tiges feuillées de *Lophocolea bidentata* sur une solution de bleu de méthylène recouverte d'une couche d'huile pour éviter que le colorant ne s'élève rapidement, par capillarité, le long de la tige et à l'extérieur de celle-ci. Le *Lophocolea* ne pouvait donc absorber l'eau et les substances solubles que par l'intermédiaire de ses rhizoïdes fixées sur la tige de la mousse qui leur servait de support. Dans ces conditions, l'absorption du liquide est lente car il doit passer par osmose de cellule en cellule. De plus, le bleu de méthylène, colorant vital, est énergiquement fixé par le protoplasma des cellules sur son parcours. Néanmoins on peut voir les tiges et les feuilles de la Mousse se colorer progressivement et le liquide bleu passer de là dans les rhizoïdes et la tige de l'Hépatique qu'il colore au voisinage de son point d'attache. Cette expérience, délicate à réussir pour les deux motifs que je viens d'exposer, est absolument décisive. Elle montre que si, dans les conditions naturelles, il y a toujours au moins simple contact entre les diverses espèces de Mousses et cette Hépatique, il peut également exister une symbiose et, sans doute même, un véritable parasitisme lorsque l'Hépatique se nourrit partiellement aux dépens des Mousses parmi lesquelles elle se développe. Et ce fait n'expliquerait-il pas la faible quantité de chlorophylle que tous les botanistes descripteurs signalent dans les feuilles de cette espèce ?

OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE. — *Sur la vitesse d'établissement de la sensation lumineuse et la grandeur de l'ondulation de prééquilibre pour des excitations monochromatiques d'intensité variable.* Note (¹) de MM. N. **Kleitman** et **H. Piéron**, présentée par M. Henneguy.

Broca et Sulzer montrèrent en 1903 que, à la fin de la période de croissance de la sensation lumineuse, ce n'est pas le régime stable qui est atteint, mais un régime passager correspondant à un niveau supérieur au niveau d'équilibre obtenu par une excitation de durée prolongée, et désigné sous le nom, discutable, d'ondulation de fatigue.

(¹) Séance du 26 janvier 1925.

Le phénomène, que nous appellerons ondulation de prééquilibre, peut être comparé à l'oscillation de l'aiguille d'un galvanomètre insuffisamment amorti. On a d'ailleurs parfois constaté (Lehmann en particulier) après la grande oscillation initiale, une, ou quelques autres, de plus en plus petites, ce qui semble indiquer un amortissement progressif.

Dès lors, il est difficile de déterminer au bout de combien de temps le régime définitif se trouve atteint. Et, comme le maximum de la premiére ondulation, assez longue, ne peut être défini avec une très grande précision, pour déterminer un indice de la vitesse d'établissement, la meilleure méthode consiste à noter au bout de combien de temps se trouve franchi pour la premiére fois le régime stable.

Ce fut celle de E. Haas qui a vérifié, en employant des lumières spectrales, le fait de l'inégale vitesse d'établissement et de l'inégale grandeur de l'ondulation de prééquilibre de la sensation lumineuse engendrée par des radiations monochromatiques de couleurs différentes, que Broca et Sulzer avaient déjà fait connaître.

Mais, à cet égard, il n'est pas possible d'établir des données précises sur les lois du fonctionnement oculaire si l'on ne tient pas compte de la qualité fondamentale des appareils récepteurs. Aussi, avons-nous repris la question en procédant séparément à l'excitation des bâtonnets et des cônes, et, en employant pour l'excitation de ces derniers, plusieurs lumières monochromatiques, obtenues par filtration avec des écrans Wratten.

Grâce à un dispositif optique permettant de juxtaposer sur la rétine, outre un point de fixation stable, des plages rectangulaires de deux photoptomètres de Polack, l'une exposée un temps assez long (1 seconde) et l'autre un temps très variable (de 0,004 à 0,360 seconde) au moyen du tachistoscope de Michotte, nous avons déterminé, par comparaison, le niveau atteint au bout de durées croissantes d'excitation ([1]).

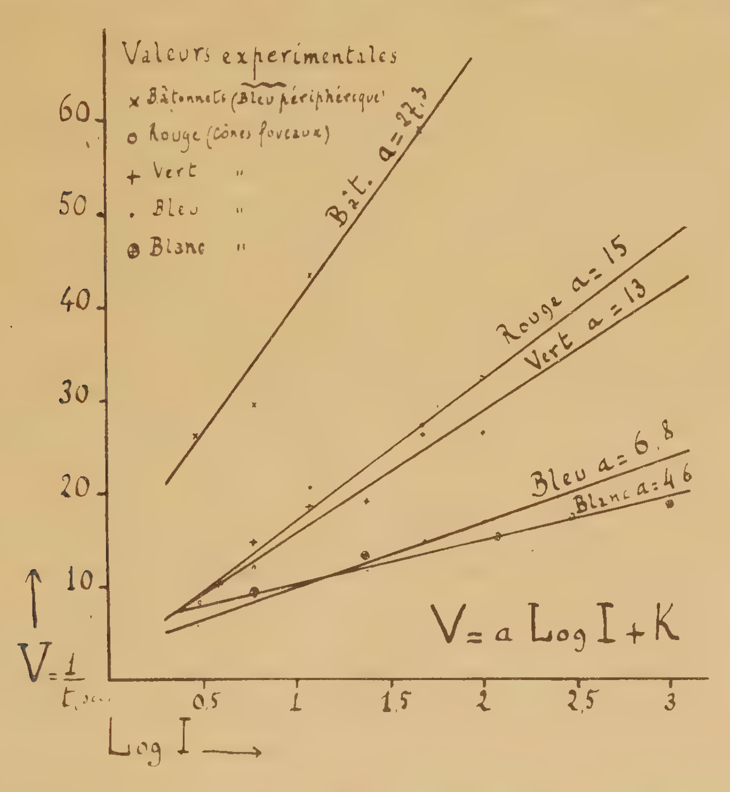
En utilisant la région fovéale, avec fixation oculaire stable, nous avons pu étudier isolément le fonctionnement des cônes; et en employant des radiations de courte longueur d'onde à des niveaux d'intensité pour lesquels la fovéa se montrait aveuglè, avec excitation périphérique, nous avons pu en faire autant pour les bâtonnets (dans tous les cas après une adaptation prolongée à l'obscurité).

Nous avons ainsi constaté que les caractéristiques d'action de la lumière bleue, signalées par Broca et Sulzer, et par Haas, étaient en réalité les

([1]) *C. R. Soc. de Biologie*, t. **91**, 1924, p. 453, 456 et 524, et t. **92**, 1925, p. 26-24.

caractéristiques des bâtonnets (vitesse plus grande d'établissement, ondulation plus marquée) sur lesquels les radiations de courte longueur d'onde agissent avec beaucoup plus d'intensité que sur les cônes.

Et, au contraire, la lumière bleue agissant exclusivement sur les cônes, montre, à intensité physiologiquement équivalente (représentant un certain multiple de l'intensité liminaire), la vitesse la moins grande et la moins haute ondulation de préequilibre, par rapport aux lumières rouge et verte (vitesse d'établissement et hauteur de l'ondulation allant de pair).



La loi générale, qui relie la latence de franchissement du régime stable à l'intensité d'excitation, est du type proposé par Charpentier : $t = \frac{a}{\sqrt[n]{i}} + K$. Les valeurs des constantes a et K diffèrent pour les bâtonnets et pour les cônes, et, pour les cônes, diffèrent suivant la nature de la lumière. Il existe des constantes propres aux trois fondamentales rouge, verte, et bleue, une excitation monochromatique donnant des valeurs intermédiaires entre celles des excitations rouge et verte. Une approximation assez grossière, mais qui permet une représentation plus simple et plus claire des faits, con-

siste à envisager la vitesse d'établissement V (réciproque des temps de latence) comme proportionnelle au logarithme de l'intensité (loi de S. Exner) : $V = a \log i + K$.

La constante a, qui régit le taux d'accroissement de la vitesse, possède la valeur maxima pour l'excitation des bâtonnets (lumière bleue périphérique), et la valeur minima pour l'excitation des cônes fovéaux par la lumière blanche, avec des valeurs intermédiaires pour leur excitation par les lumières rouge, verte et bleue.

Sur une échelle logarithmique des intensités, les droites représentant de façon approximative les vitesses (droites qui devraient présenter une incurvation vers l'axe des X) ont une inclinaison (représentée par la constante a) qui indique ce taux de variation des vitesses (voir la figure).

D'autre part les intensités sont représentées sur une échelle d'équivalence physiologique (multiples de l'intensité d'excitation liminaire prise pour unité dans chaque cas), ce qui permet de comparer le niveau des vitesses d'établissement pour les différentes catégories d'excitation.

La plus grande vitesse d'établissement de la lumière rouge et de la lumière verte, par rapport à la lumière bleue, est en accord avec les données déduites par l'un de nous de ses recherches sur les couleurs subjectives de Fechner-Benham, et avec le mécanisme d'interprétation proposé [1].

CYTOLOGIE. — *État quiescent et état actif chez les amibocytes d'Arénicole.* Note de M. **E. Fauré-Fremiet**, présentée par M. Henneguy.

Les amibocytes de l'Arénicole, examinés aussitôt après l'extraction de la lymphe périviscérale [2] sont des cellules fusiformes très allongées avec une région centrale ovoïde, et renflée autour du noyau. Très bien décrits par Deckhuyzen en 1901, et revus par Romieu en 1923, ces éléments présentent en général une courbure légère et leurs extrémités sont plus ou moins aiguës; ils sont rigides et non adhérents.

La coloration vitale des leucocytes fusiformes effectuée dans certaines

---

(1) Cf. H. Piéron, *Loi de la vitesse d'établissement des processus chromatiques fondamentaux* (*Comptes rendus*, t. 174, 1922, p. 1294); *Le mécanisme d'apparition des couleurs subjectives de Fechner-Benham* (*Année psychologique*, t. 23, 1923, p. 1-49).

(2) Mes observations ont porté tout particulièrement sur les jeunes individus longs de 3cm à 5cm dont la lymphe très riche en globules blancs ne contient pas ou très peu d'éléments sexuels.

conditions avec le violet dahlia ou le vert janus met en évidence un faisceau de longues fibrilles parcourant toute la longueur de la cellule; les unes contournent le noyau et les autres le dépriment en une incision médiane absolument constante; l'éclairage ultra-microscopique permet de les distinguer sans coloration du reste du cytoplasma, lequel est une gelée amicronique, pouvant contenir quelques inclusions réfringentes colorables par le rouge neutre et quelques globules huileux.

Après les fixations chromiques ou chromo-osmiques ces fibrilles se teignent énergiquement par la fuchsine; elles apparaisseut également par les méthodes à l'osmium réduit, et l'on serait tenté de les assimiler à de grands chondriocontes, si elles ne résistaient aux liquides picro-acétiques et aux solvants des graisses, en conservant une forte affinité tinctoriale pour divers colorants tels que l'éosine et la fuchsine. On peut supposer que ces structures représentent la superposition de tono fibrilles (au sens de Heidenhain) et de mitochondries, cette superposition pouvant être imaginée, au point de vue physico-chimique, comme une teinture de la fibrille protéique par les lipoïdes caractéristiques des mitochondries.

Une à deux minutes *au plus* après l'extraction de la lymphe périviscérale, les cellules fusiformes subissent les transformations profondes décrites par Deckhuyzen (1901); elles se raccourcissent très rapidement, deviennent globuleuses et émettent les mêmes lames pseudopodiques godronées et peu mobiles que Rosa (1896) avait nommées « pseudopodes pétaloïdes », et Deckhuyzen « ptéropodes », avant que Edwin Goodrich (1920) ne définisse leur exacte structure.

En même temps les colorations cytologiques montrent tous les stades de la fragmentation des filaments colorables et leur résolution en granules comparables à des mitochondries (avec les mêmes réserves que ci-dessus).

Cattaneo, Rosa, Hardy, Botazzi ont considéré ce type de transformation, qui se retrouve chez un très grand nombre d'amibocytes d'Invertébrés (Vers, Mollusques, Crustacés, etc.) comme un phénomène prémortel. Siedlecki (1903) le considère plutôt, d'après ses observations sur *Polymnia*, comme le passage d'un état quiescent à un état actif; si l'on injecte de la poudre de carmin dans la cavité générale de l'Arénicole, toutes les cellules fusiformes deviennent amiboïdes et phagocytaires. Leo Loeb (1920) pense d'ailleurs qu'une simple action mécanique peut entraîner la transformation de l'état quiescent à l'état actif.

Mais la nature très particulière des pseudopodes lamelleux de ces amibo-

cytes (« choanoleucocytes » de Dehorme 1925) semble liée à une faible motilité et à un grand pouvoir d'adhésion; le protoplasma de ces cellules à l'état amiboïde a perdu sa rigidité, il est devenu fluide, et s'étale sur certaines surfaces solides. Leo Loeb a montré chez *Limulus* que cet étalement entraîne une nouvelle transformation, irréversible et prémortelle cette fois, la disproportion réalisée entre la surface et le volume protoplasmique modifiant profondément l'imbibition et la perméabilité cellulaire. Les « corpuscules explosifs » de Hardy représentent l'exagération d'un tel cas.

Si l'étalement n'est pas trop considérable (« thigmocytes » de *Periplaneta* et d'*Astacus* d'après Tait 1920), il s'accompagne d'une translation par glissement bien connue chez quelques Amœbiens qui, tels que *Hyalodicus*, possèdent à l'état actif des lames hyaloplasmiques et non plus des pseudopodes lobés (Penard 1902), et chez certaines cellules mésenchymateuses cultivées *in vitro* qui forment elles aussi des lames hyaloplasmiques (H.-B. Goodrich 1924).

Tait (1920) analyse les conditions de l'étalement total et celles du glissement au point de vue des phénomènes de tension superficielle qui prédominent certainement dans ce cas.

Si les amibocytes d'Arénicole sont distribués sur des surfaces solides appropriées et non planes (réseaux) l'étalement total ne se produit pas et les phénomènes d'adhérence mutuelle, si bien étudiés par Léo Loeb, prédominent; on observe comme avec les amibocytes de *Limulus* la formation de pseudo-tissus, mais on constate de plus une tendance à l'organisation des masses constituées, car les amibocytes reviennent lentement à l'état quiescent initial et reconstituent leur structure fibrillaire dans les limites permises par leurs situations réciproques.

On a décrit, chez de nombreux Amœbiens, un état quiescent et un état actif correspondant par exemple, et pour une même espèce, à l'aspect d'*A. radiosa* (forme rigide) ou d'*A. limax* ou *guttula* (forme fluide) (Penard 1902, Doflein 1907). Le *Hyalodiscus* est aussi dans ce cas. Les travaux de Chambers, Hyman, Pantin, etc., permettent de considérer ces états physiologiques comme liés à l'état physico-chimique des colloïdes du protoplasma.

Le cas des leucocytes fusiformes est tout à fait comparable, mais l'état quiescent rigide *peut* dans certains types, être lié à l'existence d'une structure interne *visible* telle qu'un faisceau fibrillaire correspondant aux « cytosquelettes » de Koltzoff, mais pouvant être essentiellement labile. Le

« linome » des éléments décrits par Dehorne ([1]) correspond à quelques-uns des cas possibles.

Chez les amibocytes non fusiformes, Heidenhain, Henneguy, Joseph ont décrit autour du centrosome des radiations qui jouent peut-être un rôle analogue ; les figures données par Meves de leucocytes actifs montrent que la sphère et le centrosome seuls persistent dans cet état.

Ajoutons qu'à l'état quiescent l'Amibe type *radiosa* comme le leucocyte fusiforme possède une tendance remarquable à la symétrie ; celle-ci disparaît lorsque le cytoplasma se fluidifie, pour donner le type *limax* ou le « choanoleucocyte », mais une nouvelle symétrie s'établit en même temps que le « gradient de métabolisme » de la cellule entière (compris dans le sens que Hyman a donné à cette conception de Child).

CYTOLOGIE. — *Les œnocytes de* Culex annulatus *et l'étude de leur chondriome au cours de la sécrétion.* Note ([2]) de M. C. Hosselet, présentée par M. F. Mesnil.

Le rôle physiologique des œnocytes des Insectes est envisagé par les différents auteurs sous des aspects contradictoires : accumulateurs de cristaux de cire utilisée pendant la métamorphose pour Hollande, ils sont considérés comme régulateurs des conditions physico-chimiques du milieu intérieur des Insectes par Poisson. J'ai recherché si l'évolution des œnocytes pendant la nymphose chez *Culex annulatus* présentait quelque rapport avec les phénomènes de la métamorphose.

Dans la larve âgée, les œnocytes se trouvent sous forme d'éléments de dimensions très différentes, pouvant varier du simple au quintuple ; on peut en distinguer deux sortes :

a. Les plus petits mesurent de 15 à 25$^{\mu}$; ils sont toujours situés sur la face ventrale et les parties latérales des segments abdominaux. On les trouve soit à l'état isolé dans le tissu adipeux, entre les muscles, soit en groupes ou en nappes, formant une véritable bordure à la partie interne du tissu adipeux et ils s'étendent parfois le long des tubes de Malpighi. Il peut se pro-

---

([1]) Dehorne, *Sur les expansions pétaloïdes des leucocytes des Chétopodes, etc.* (*Comptes rendus*, t. 180, 1925, p. 333).

([2]) Présentée à la séance du 26 janvier 1925.

duire une avancée d'une nappe d'œnocytes dans le dernier somite thoracique; mais, en fait, les petits œnocytes, comme d'ailleurs les grands décrits ci-après, sont cantonnés exclusivement dans l'abdomen.

b. Une deuxième catégorie comprend des œnocytes de très grande taille (50 à 60$^{\mu}$) à disposition particulière : ils forment un groupe de cinq éléments de chaque côté de la partie postérieure des somites abdominaux, où, en se comprimant, ils donnent l'impression trompeuse d'une glande cutanée.

Chez la nymphe, la répartition et les dimensions des œnocytes de la première catégorie sont à peu près identiques. Cependant on observe, aux premières heures de la nymphose, une série d'œnocytes disposés dans le bourgeon alaire, vraisemblablement entraînés par la croissance des trachées. Les œnocytes de grande taille se retrouvent avec de plus fortes dimensions, toujours en même nombre et dans la même position. Mais chez l'imago, le nombre des petits œnocytes est très réduit, ils sont dans le tissu adipeux à l'état isolé, et les groupes et nappes des périodes larvaire et nymphale ont disparu, ainsi que les amas métamériques de cinq grands éléments.

Tous ces œnocytes sont des cellules sécrétantes. Dans les larves très jeunes (3^{mm}), les grands œnocytes contiennent un chondriome abondant, donnant des figures remarquablement nettes et qui est alors uniquement constitué par des chondriocontes; plus tard seulement le chondriome s'y présente sous la forme de mitochondries. *Le chondrioconte est donc ici la forme jeune fondamentale*. Au début du cycle sécrétoire, les petits œnocytes ont une structure analogue, mais leur évolution est beaucoup plus rapide et l'on y observe presque toujours, outre les chondriocontes nombreux, quelques mitochondries souvent groupées par deux. Les chondriocontes, épais, légèrement flexueux, sont parfois renflés en massue à l'une de leurs extrémités; l'œnocyte ne contient alors aucune vacuole.

A un stade plus avancé, l'extrémité renflée est devenue une vésicule à contenu clair, avec l'aspect classique en raquette. Quelques vésicules libres, vraisemblablement détachées du chondrioconte, sont encore entourées de l'anneau sidérophile; d'autres, sans doute plus âgées, en sont dépourvues. Enfin, d'autres chondriocontes prennent un aspect moniliforme et finissent par se résoudre en mitochondries. Ces dernières évoluent d'abord en petits plastes sphériques, puis constituent des vésicules qu'il devient impossible de distinguer de celles formées directement par les chondriocontes.

Peu à peu, le phénomène sécrétoire s'accentue, toutes les vésicules sont disposées en séries linéaires sur l'emplacement des chondriosomes élabora-

teurs, leur aspect rappelle celui qu'a figuré Prenant [1] pour les œnocytes de l'abeille. Les vésicules ainsi multipliées viennent au contact, sans cependant se fusionner véritablement; on peut toujours distinguer un léger réseau dont les mailles sont les limites de vésicules primitives. A ce moment, il ne persiste que quelques mitochondries isolées : *le chondriome disparaît donc au fur et à mesure du développement de la sécrétion.*

A ce stade, l'œnocyte déverse son contenu dans la cavité générale, puis dégénère. Les quelques petits œnocytes qui subsistent chez l'adulte présentent parfois un chondriome à formes évolutives, et ne paraissant plus aboutir que rarement à la formation de vésicules. Ce rôle sécrétoire peu intense semble bien en rapport avec le fait que le métabolisme est désormais principalement d'ordre sexuel.

Les fixations mitochondriales non osmiquées ne conservent pas le contenu des vésicules. Mais une imprégnation à l'acide osmique, prolongée et postérieure à une fixation osmiquée, lui donne une très légère teinte grisâtre : il s'agit vraisemblablement de lipoïdes très labiles.

En résumé, chez *Culex annulatus*, les œnocytes fonctionnent en glandes holocrines dont l'activité, intense à la fin de la période larvaire, atteint son maximum pendant la nymphose pour décroître ensuite et même disparaître chez l'imago. Chez les petits œnocytes, la sécrétion est un phénomène continu, c'est-à-dire qu'à tous les stades du développement de la larve et de la nymphe, on trouve des éléments arrivés au terme de leur élaboration et ayant rejeté leur contenu. Celui-ci aurait donc un rôle en rapport avec le métabolisme dans le développement prémétamorphique de l'individu. Quant aux gros œnocytes, leur cycle sécrétoire ne diffère de celui des précédents que par la lenteur de l'accumulation des produits sécrétés, qui ne sont déversés qu'au cours de la nymphose. Ce fait et leur disparition complète chez l'imago montrent que leur rôle est limité aux phénomènes de la métamorphose.

Dans les deux formes d'œnocytes, le chondriome est primitivement à l'état de chondriocontes; ceux-ci fournissent la sécrétion, soit par la production de vésicules, soit après s'être transformés en mitochondries. Le chondriome disparaît au cours de la sécrétion.

---

(1) M. Prenant, *Études histologiques sur les peroxydases animales*, (*Archives de Morphologie générale et expérimentale*, Paris, 1924, fasc. 21, p. 64).

MÉDECINE. — *Mode d'action du bismuth dans la syphilis.* Note [1] de MM. C. **Levaditi** et A. **Girard**, présentée par M. E. Roux.

Dans une Note antérieure [2], Levaditi, Nicolau, Mlles Salgue et Schoen, ont montré que la destruction du tréponème au niveau du chancre chez les lapins traités par le tartro-bismuthate alcalin (Trépol) s'opère en présence de quantités de Bi-métal infiniment petites, si petites même qu'elles étaient impossibles à déceler par les procédés chimiques utilisés alors (dosage du bismuth à l'état d'oxyde). Depuis, l'un de nous (Girard) a découvert une méthode quantitative capable de mettre nettement en évidence *un microgramme* ($\frac{1}{1000}$ de milligramme) de bismuth présent dans les tissus ou les humeurs. Voici les résultats qu'elle nous a fournis, au sujet du mécanisme qui préside à la destruction du spirochète au niveau des accidents spécifiques.

Expérience. — 1° *Lapin* 81 B, P = 2250g. — Porteur de deux gros chancres syphilitiques du scrotum (virus Truffi) est traité par 0g,1 de Trépol par kilogramme (injection intramusculaire). Le *quatrième jour*, les tréponèmes ont disparu, les syphilomes ont diminué de volume. L'animal est sacrifié.

2° *Lapin* 91 B, P = 2850g. — Porteur, lui aussi, de deux gros chancres du scrotum. Même traitement, même effet; l'animal est sacrifié le *sixième jour*.

Le muscle injecté, plusieurs organes, ainsi que les chancres, sont examinés histologiquement et chimiquement.

Examen histologique. — La méthode histo-chimique [3] révèle la présence du bismuth dans le muscle injecté; nulle part ailleurs le métal n'est décelé par cette méthode. Au niveau du muscle, le processus diapédétique est intense; il s'accompagne de phénomènes réactionnels (production de fibroblastes et de cellules géantes) et de nécrose de myofibrilles. Aucun organe n'est lésé.

---

(1) Séance du 26 janvier 1925.

(2) Levaditi, Nicolau, Mlles Salgue et Schoen, *Comptes rendus*, t. 179, 1924, p. 939.

(3) Méthode de Levaditi, Nicolau et Mlle Schoen, (*Comptes rendus*, t. 179, 1924, p. 939).

Analyse quantitative. — *Teneur en Bi, calculée par gramme de matière sèche.*

	Bi (en microgrammes).						Bi (en mg).
	Poumon.	Rate.	Foie.	Testicule droit.	Test. gauche.	Rein.	Muscle injecté.
Lapin 81 B (sacr. le 4e jour)	30^{γ}	48^{γ}	4^{γ}	–	3^{γ}	44^{γ}	$17^{mg},5$
Lapin 91 B (sacr. le 6e jour)	16^{γ}	6^{γ}	2^{γ}	2^{γ}	$<2^{\gamma}$	24^{γ}	$8^{mg},0$

Bi dans le chancre :

	Lapin 81 B		Lapin 91 B	
	par gr. de mat. sèche.	pour la totalité du chancre.	par gr. de mat. sèche.	pour la totalité du chancre.
Chancre droit.........	$4^{\gamma},5$	2^{γ}	$5^{\gamma},8$	2^{γ}
Chancre gauche........	$10^{\gamma},0$	2^{γ}	$4^{\gamma},3$	$\pm 1^{\gamma}$

Ces chiffres montrent : 1° que la teneur bismuthique des organes examinés est plus forte chez le lapin sacrifié le quatrième jour que chez l'animal ayant survécu deux jours de plus; 2° que le *rein*, organe d'élimination mis à part, le poumon et la rate sont, parmi les tissus soumis à l'analyse, ceux qui renferment le plus de métal; 3° que *les syphilomes contiennent des quantités infinitésimales de bismuth*.

Ainsi, la destruction des tréponèmes au niveau du chancre, chez le lapin, s'opère en présence de quantités de Bi qui varient entre 1^{γ} et 2^{γ} pour la totalité du syphilome, soit entre 4^{γ} et 10^{γ} par gramme de matière sèche. Ces quantités dépassent à peine celles que l'analyse révèle dans certains tissus indifférents, tels que le foie ou le testicule. Il en résulte que *la lyse du spirochète n'exige que des traces infinitésimales de métal, aucune accumulation bismuthique ne s'effectuant au lieu même où cette lyse évolue*. La destruction du parasite sous l'influence du Bi nous apparaît comme un processus lytique, où des traces de métal semblent remplir le rôle d'un catalyseur, par rapport aux principes spirochéticides que l'organisme infecté élabore à un moment donné. On sait en effet que la plupart des accidents spécifiques finissent par se cicatriser d'eux-mêmes, à la longue, les tréponèmes conservant leur vitalité aussi longtemps que persiste la lésion. Or des quantités minimes de Hg, d'As et de Bi, ou même de vanadium, accélèrent dans des proportions considérables cette lyse lente et progressive des parasites. L'analogie avec certains processus diastasiques, que des traces

de catalyseurs métalliques ou autres amplifient, devient ainsi des plus frappantes [1].

La séance est levée à 16h.

É. P.

ERRATA.

(Séance du 26 janvier 1925.)

Note de MM. *Marcel Godchot* et *Pierre Bedos*, Sur la chloruration de la para-méthylcyclohexanone :

Page 296, ligne 25, *au lieu de* qui ne peut exister, *lire* qui peut n'exister.

---

[1] Le principe protéobismuthique (Bismoxyl) agissant au niveau du syphilome, semble utilisé au fur et à mesure de sa formation. En effet un extrait de chancre qui vient d'être stérilisé par le Bi (en injection musculaire) est incapable de détruire d'autres tréponèmes ou des *Spirillum gallinarum* (Levaditi et Nicolau).